



Examensarbete inom trädgårdsingenjörsprogrammet. 2005:23

ISSN 1651-8152

A detailed botanical illustration of a plant stem, likely a species of pine or spruce, is positioned vertically in the background. The stem is covered in small, needle-like leaves and terminates in a long, slender, and densely packed terminal spike (cones).

## **Kisel som växtstärkande ämne - en litteraturstudie**

Silica as a plant strengthening element  
- a study of literature

Tove Hultberg

Examensarbete 10 p  
Institutionen för Växtvetenskap  
Handledare: Beatrix Alsanius  
Examinator: Håkan Asp

## Innehåll

Sammanfattning.....	4
Abstract.....	4
1. Inledning.....	5
1.1. Syfte .....	6
1.2. Bakgrund .....	6
1.3. Material och metoder .....	6
2. Kisel.....	7
2. 1. Förekomst.....	7
2.1.1. Jord.....	7
2.1.2. Substrat .....	9
2.1.3. Vatten.....	9
2.2. Kisel i växten.....	10
2.2.1. Upptag.....	10
2.2.2. Fastläggning och rörlighet .....	14
2.2.3. Brist och toxicitet.....	16
3. Kisel som växtstärkande ämne .....	18
3.1. Kisel till rotmiljön .....	19
3.1.1. Tillväxt och stabilitet .....	19
3.1.2. Skörd och lagring.....	23
3.1.3. Växtpatologiska effekter .....	26
3.2. Kiseltillförsel till stam och blad .....	31
3.2.1. Tillväxt.....	31
3.2.2. Växtpatologiska effekter .....	31
3.3. Kisel i tillgängliga produkter.....	34
3.3.1. Lerbaserade produkter.....	34
3.3.2. Stenbaserade- och vulkaniska preparat.....	35
3.3.3. Växtbaserade preparat.....	36
3.3.4 Slaggbaserade preparat .....	36
3.3.5. Kemiska preparat .....	36
3.3.6. Biodynamiska preparat .....	37
4. Diskussion .....	39
Tack.....	41
5. Referenser .....	42

### Enheter och omvandlingar

I texten används en mängd enheter, som för att förbättra läsbarheten samlats här. I försök som refereras till har omväxlande mM och ppm använts. För att lättare kunna jämföra dessa resultat med varandra är mM i texten omräknade till ppm, resultatet framgår inom parentes i de förekommande fallen.

Tabell 1. Sammanställning av i texten använda enheter

Enhet	Utläses som	Innebär
g	gram	1 g = 0.001 kg
ml	milliliter	1 ml = 0.001 l
mM	millimolar	1 mM = 0.001 M
M	mol	vikten i gram av ett mol av ett ämne
nm	nanometer	1 nm = 0.00 000 0001 m
nM	nanomolar	1 nM = 0.00 000 0001 M
%	procent	1/100 = 0.01
ppm	parts per million, miljondel	1/1000000 = $1^{-6}$
μM	mikromolar	1 μM = 0.00 000 M

Tabell 2. Omvandlingstabell mellan mM och ppm

mM/ liter = mg/liter (ppm) dividerat med molekylmassan
Ppm = M/l multiplicerat med molekylmassan

## Sammanfattning

Kisel (Si) är det näst vanligaste ämnet (drygt 25 %) i berggrunden. Bara en del av detta är tillgängligt som monokiselsyra, den form i vilken kisel är upptagbart för växter. Jordens kiselinnehåll är beroende av bergets vittring. Mycket höga halter av kisel återfinns i naturen i vulkaniska substrat (pimpsten innehåller drygt 66 % Si och scoria närmare 47 % Si), i diatomit (ett mineral bestående av resterna från encelliga kiselhaltiga alger, s.k. diatoméer) innehållande <40 % Si) samt i en del leror (30-60 % Si). Olika växtslag är olika benägna att ta upp kisel. Högre växter kan delas in i tre kategorier (1) växter med aktivt kiselupptag, (2) växter med passivt kiselupptag och (3) växter som undviker kisel. Också lagringsplatsen för kisel i växten varierar med växtslag. Gemensamt för alla växtslag är dock att äldre växtdelar vanligen innehåller mer kisel än yngre och att när ämnet fastlagts är det fullkomligt immobilt i växten.

Kisel räknas vanligen inte som ett växtnäringsämne. För att ett ämne ska anses som essentiellt (livsnödvändigt) för en växt krävs att växten inte klarar av att genomföra sin livscykel utan detta ämne. Några belägg för att kisel skulle ha denna inverkan finns inte. Däremot finns många undersökningar som visar på att kisel kan ha främjande effekter på växter. Bland annat har ämnet visat sig ha en skyddande effekt mot angrepp av växtpatogener, främst svamp. Hypotesen är att detta sker i form av ett mekaniskt skydd, genom att kisel lagras under växtens epidermis och därmed hindrar svampens hyfer från att tränga in i växten. Det finns även tydliga indikationer på att kisel skulle sänka växtens transpiration, öka fotosyntesen, samt ha en för växten fördelaktig inverkan på upptag av andra ämnen.

## Abstract

Silica (Si) is the second most abundant element (fully 25%) in the earth's crust. Just some of this is available as monosilicic acid, the form in which silica is possible to assimilate for plants. The amount of silica in the soil is dependent of the weathering of the rocks. Very high content of silica is found in the nature in volcanic substrates (pumice: > 66 % Si, scoria approximately 47% Si), in diatomite (a mineral consisting of the remainings of single celled algae, diatoms containing < 40 % Si) and in some clays (30-60% Si). Plant species differ in silica uptake. Higher plants can be divided into three categories (1) plants with active uptake, (2) plants with passive uptake, and (3) plants that avoid silica. Also the deposition site for silica varies between plant species. However older plantparts usually contain more silica than younger ones. Once the compound has been deposited it becomes completely immobile in the plant.

Silica is usually not viewed as an essential nutrient for plants. In order to be considered essential to plants, it is required that the plant is not able to complete its life cycle without this element. Today there is no evidence that silica would have this effect. On the other hand there are many studies that show beneficial effects of silica on plants. Among these silica has shown to have a protecting effect against attack of plant pathogens, primary fungi. It has been proposed that silica acts as a mechanical barrier, by depositing under the plant epidermis and thereby restraining the fungal hyphae from penetrating the plant. There are also distinct indication that silica might decrease the plant's transpiration, increase photosynthetic activity, and promote uptake of other elements.

## 1. Inledning

Odlingens vagga placeras vanligen i Mesopotamien, mellan floderna Euftrat och Tigris (ungefär i dagens Irak). Redan 2500 f. Kr. omskrevs fenomenala skördar och jordens goda fruktbarhet i området. Exakt när man insåg att skördarna försämrades efter många års odling på samma ställe, och därav drog slutsatsen att växterna utarmade marken vet man inte. Ett tidigt belägg återfinns i den grekiska mytologin, där gödsling av vingårdar bland annat nämns i Odyssén. Tidigt omtalades även tillförsel av både djurspillning, grönmassa och aska såsom fördelaktigt vid odling. Efter Roms fall gjordes mycket få framsteg på området, och ända fram till 1600-talet menade dåtidens framstående forskare att den huvudsakliga näringskällan för växter var vatten. Under 1600- och 1700-talet avspeglade de flesta försök sökandet efter ett växternas universalämne. Man förutsatte att växter hade en enda huvudbeståndsdel, det gällde bara att finna den (Tisdale och Nelson 1975).

Det var inte förrän med den tyske kemisten Justus von Liebig (1803-1873) som den tidigare mycket bristfälliga teoretiska kunskapen om vikten av näringstillförsel blev sammanställd och summerad, och växtnäring blev etablerat som en vetenskaplig disciplin. Liebigs slutsats var att kväve, svavel, fosfor, kalium, kalcium, magnesium, kisel, natrium och järn var essentiella för växter. Denna slutsats var dock snarare grundad på observationer och spekulationer än på exakta experiment, vilket snart gav upphov till en mängd undersökningar av många olika växtslag. Av dessa senare undersökningar drog man slutsatsen att vare sig närvaron eller frånvaron av ett ämne i en växt gjorde det essentiellt. Detta då växter hade begränsade möjligheter att selektera sitt upptag av ämnen och även kunde ta upp ämnen som är oviktiga, eller till och med skadliga (Marschner 1995).

Allt levande växtmaterial består av vatten, organiskt material och mineraler (grundämnen eller kemiska föreningar) (Mengel och Kirkby 1982). Mängderna av de olika beståndsdelarna varierar mycket mellan olika växtslag, men gemensamt för alla är att vatten alltid utgör den största - och mineraler den minsta gruppen. Den procentuella fördelningen är generellt sett vatten 70 %, organiskt material 27 % och mineraler 3 % (Mengel och Kirkby 1982).

För att ett ämne idag ska anses som essentiellt för en växt, måste tre kriterier uppfyllas (Mengel och Kirkby 1982).

1. Brist på ämnet omöjliggör för växten att fullfölja sin livscykel
2. Bristen är specifik för ämnet i fråga
3. Ämnet är direkt kopplat till växtens livscykel, exempelvis som en del av en livsnödvändig metabolism, eller är nödvändig för ett enzymsystem.

De ämnen som idag räknas som essentiella för högre växter är kol (C), väte (H), syre (O), kväve (N), fosfor (P), svavel (S), kalium (K), kalcium (Ca), magnesium (Mg), järn (Fe), mangan (Mn), koppar (Cu), zink (Zn), molybden (Mo), bor (B) och klor (Cl) (Mengel och Kirkby 1982).

Tabell 3. Upptäckten av några för växter essentiella ämnen (Marschner 1995)

Ämne	År	Upptäckare
Järn	1860	J. Sachs
Mangan	1922	J. S. McHargue
Bor	1923	K. Warington
Zink	1926	A. L. Sommer och C. B. Lipman
Koppar	1931	C. B. Lipman och G. MacKinney
Molybden	1938	D. I. Arnon och P. R. Stout
Klor	1954	T. C. Broyer et al.

Enligt denna mycket strikta definition är ämnen som kompenserar för andra ämnens toxiska effekter eller som ersätter andra ämnen i vad som ses som dess mindre viktiga funktioner (såsom bibehållande av osmotiskt tryck) inte essentiella. Sådana ämnen, däribland kisel, räknas vanligen till en egen grupp, s.k. befrämjande ämnen (beneficial elements) (Marschner 1995).

Invändningar har funnits mot denna definition. Bland annat Tisdale och Nelson (1975) menade att den var för sträng för att vara praktiskt tillämpbar. De åberopade istället termen funktions - eller metabolismnäringsämnen (functional or metabolism nutrient). Denna omfattade alla ämnen som inverkar på en växts ämnesomsättning, oavsett om funktionen var specifik för ämnet ifråga eller inte. Deras definition omfattade även exempelvis natrium, vanadin och kisel (Tisdale och Nelson 1975).

## **1.1. Syfte**

Trots att kisel inte räknas som ett växtnäringsämne tillskrivs det ofta växtstärkande egenskaper, allt från att skydda växten till att fysiologiskt stärka organismen och ge den möjlighet att bättra tillgodogöra sig andra ämnen i sin omgivning. Syftet med denna uppsats är att i befintlig litteratur och med hjälp av samtal med personer med erfarenhet av ämnet undersöka och belysa detta.

## **1.2. Bakgrund**

Idén om just detta ämne som grund för min uppsats föddes på ett förhållandevis tidigt stadium, med inspiration från flera olika håll. Dels spelade min egen bakgrund i den biodynamiska odlingstraditionen en roll, då denna fått mig intresserad av att undersöka vilket vetenskapligt värde de biodynamiska principerna och traditionerna har. En annan avgörande faktor var att jag gång på gång kom i kontakt med kisel, i böcker eller vid studiebesök. Ämnet åtföljdes dock aldrig av en ordentlig redogörelse, utan bara i form av vaga antydningar om vad som på många håll beskrevs som ett mirakelmedel. Det lockade mig att ta reda på vad ämnet egentligen gjorde, och huruvida det fanns belägg för dess tillskrivna egenskaper.

Ytterligare en ingång till uppsatsen var via växtnäringen, och svårigheten att uppnå en optimal tillväxt och utveckling för växten samtidigt som det miljöskadliga näringsläckage som fortfarande är vanligt, både i konventionell och i ekologisk odling, minimeras. Inom växtnäringen kommer kisel in som en mycket intressant del. Detta inte minst då det inte räknas som ett näringsämne utan vanligen ges egenskaper utöver dessa, såsom att stärka växterna.

## **1.3. Material och metoder**

Metoden som använts är litteraturstudier. I den mån växtnamn har översatts från engelska, eller kompletterats med svenska alternativt vetenskapliga namn, har detta gjorts i enlighet med Kulturväxtlexikon (Aldén et al. 1998). I den mån ett svenskt uttryck för en företeelse saknas har jag gjort en översättning samt skrivit det engelska ordet/orden inom parentes som jämförelse.

## 2. Kisel

Kisel är ett icke metalliskt grundämne, tillhörande grupp 4 i det periodiska systemet. Detta innebär att det har liknande egenskaper som kol, germanium, tenn och bly (Lidman 1999). Kiselpulver är vanligen svart. Kisel reagerar med syre och de flesta syror och angrips av varma alkaliska lösningar. Grundämnet upptäcktes och namngavs år 1824 av den svenske kemisten Jöns Jakob Berzelius. Ämnets latinska namn, silicium, har härletts från latinets ord för kiselsten, silex (Lundin, muntligt meddelande 2005).

Tabell 4. Kemiska fakta om kisel

Kemiskt tecken	Si
Atomnummer	14
Atomvikt	28,09
Specifik vikt (g/ cm <sup>3</sup> )	2,33
Smältpunkt (°C)	1420
Kokpunkt (°C)	2477

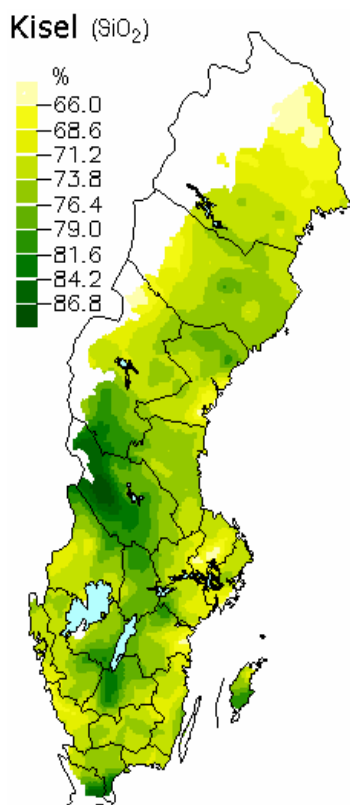
### 2. 1. Förekomst

#### 2.1.1. Jord

Alla bergarter består av ett eller flera mineral. Bergarterna delas in i magmatiska och sedimentära bergarter. Om någon av dessa utsätts för mycket högt tryck eller för hög temperatur omvandlas de, och kallas då metamorfa bergarter. Om trycket eller temperaturen är alltför hög smälter berget helt eller delvis, varvid en magmatisk bergart bildas. Bergarter indelas även i sura, intermediära och basiska bergarter, beroende på kiselhalten (Regander, muntligt meddelande 2005). Jordskorpan är till övervägande del uppbyggd av bergarter bestående av föreningar mellan kisel och syre, exempelvis de i Sverige vanligaste bergarterna, gnejs och granit, som är blandningar av kvarts (SiO<sub>2</sub>), glimmer och fältspat (aluminiumsilikater) (Kirchmann och Ericsson 1987). Silikater är salter av kiseltsyra, till skillnad från silikoner som är föreningar mellan kisel, syre och organiska radikaler (Lidman 1999). Kisel är näst syre det vanligaste ämnet i jordskorpan, men förekommer aldrig fritt i naturen. Den genomsnittliga halten i jordskorpans bergarter är 27,7 %, se tabell 5 och figur 1 (Lundin, muntligt meddelande 2005).

Tabell 5. Kiselhalt (%) i bergarter (Kabata-Pendias och Pendias 1992, modifierad)

Bergart	Si
Magmatiska bergarter	
Ultrabasiska bergarter, exempelvis dunit, peridotit och pyroxenit	19.0-20.5
Basiska bergarter, exempelvis basalt och gabbro	23-24
Intermediära bergarter, exempelvis diorit och syenit	26.0-29.1
Sura bergarter, exempelvis graniter och gnejs	31.4- 34.2
Sura bergarter (vulkaniter, dvs. ytbergarter), exempelvis ryolit, trakyt och dacit	30.8- 33.6
Sedimentära bergarter	
Leriga element, exempelvis lersten och mörgelsten	24.5-27.5
Lerskiffer	24.0- 27.5
Sandsten	31.6- 36.8
Kalksten, dolomit	2.4-4.0



Tillgängligheten av kisel i marken är beroende på hur snabbt vittringen av berget sker, det vill säga hur snabbt berggrunden bryts ned. I bergarter som är motståndskraftiga mot vittring, såsom kvarts, är kisel totalt otillgängligt trots den höga kiselhalten. För växter är kisel tillgängligt i form av monokiselsyra vid pH 2-9. Adsorptionen (förmågan hos fasta partiklar att elektrostatiskt fästa ämnen vid sin yta) minskar över och under pH 9.5. Sura jordar tenderar att innehålla högre koncentrationer av kisel i marklösningen. Kalkning har visats minska upptaget av kisel (Mengel och Kirkby 1982). Ju större lerfraktion (lerpartiklarnas storlek), desto högre är dess innehåll av tillgängligt  $\text{SiO}_2$ . Sandjordar kan innehålla omkring 40% kisel, medan starkt vittrade, tropiska jordar inte innehåller mer än 9% (Fogelfors 2001).

Figur 1 Skogsmarkens medelhalter av kiseldioxid i mineraljorden i Sverige, på 50 cm djup. Från [www-markinfo.slu.se](http://www-markinfo.slu.se) 050713, med tillstånd av Lundin, muntligt meddelande 2005).



## Markvätskan

I markvätskan varierar kiselhalten mellan 1.4 och 56.0 mg Si/l (Kirchmann och Ericsson 1987). Koncentrationen ligger vanligen omkring 14-20 mg Si/l, med tendens till lägre kiselkoncentrationer vid högt pH (Marschner 1995). När halten kiselsyra i markvätskan överstiger kiselsyrans löslighet fälls syran ut. Detta kan ske genom tillsats av lösliga silikater (exempelvis slagger (rester från metallbearbetning) och kaliumsilikat). Den utfällda syran föreligger som voluminös och vattenrik kiselgel. Det har spekulerats i huruvida denna kiselgel skulle kunna påverka jordarnas brukningsegenskaper. Hypotesen var att kiselgel skulle bidra till uppbyggnad av en stabil aggregatstruktur i lerjord och en förbättrad porstorleksfördelning i flertalet andra jordar. Ett fåtal försök har gjorts på detta. De visar skiftande resultat, i många av försöken noterades en stabiliserande effekt på jorden, men inte i några dokumenterade fall har effekten varit varaktig (Kirchmann och Ericsson 1987).

### 2.1.2. Substrat

Då kisel är vanligt förekommande i jordskorpan återfinns ämnet i många för odling avsedda substrat. Några av de mest kiselrika substrat som finns är vulkaniska material, såsom pimpsten och scoria. Innehållet av  $\text{SiO}_2$  är betydligt större i pimpsten (66.29 %) än i scoria (46.99 %). Scoria är även mindre porös än pimpsten, men i och med detta även mer hållfast och trycktålig. Vilken typ av bergart som bildades vid ett vulkanutbrott beror på vilken jordart som fanns under vulkanen (Modéer och Svensson 2004).

Ljus pimpsten bildas bara av vulkaner på berggrund av ryolit (exempelvis isländska Hekla). Pimpstenens färg beror i sin tur på kiselinnehållet i stenen, ju högre kiselkoncentration desto ljusare färg. Försök har gjorts med snittrosor och Marguerite odlade i scoria och pimpsten, både för sig och blandade med torv. Dessa visade att substraten avgav kisel till näringslösningen, pimpsten i stora mängder (+206 %) och scoria något mindre (+59 %). Effekten var lika uppenbar oavsett om det vulkaniska materialet utgjorde 100 % av substratet eller om det var uppblandat med torv (Modéer och Svensson 2004).

Stenull innehåller omkring 45 % Si (Pettersson 1995). Då ämnet inte i den befintliga formen är upptagbart för växten är det ändå inte ovanligt med låga kiselhalter hos växter odlade i detta substrat (Christensson 1991a).

### 2.1.3. Vatten

Det är mycket svårt att hitta relevanta siffror för kiselhalter i vatten. Detta beror till stor del på att kisel enligt Livsmedelsverket saknar effekt på människor, såväl positiv som negativ. Eftersom kisel inte finns med på Livsmedelsverkets lista över skadliga ämnen är det mycket få som anser att det finns praktisk betydelse att analysera vatten för kiselinnehåll (Ohlander, muntligt meddelande 2005). Vare sig Malmö kommun, Lunds kommun eller analysföretaget ALcontrol utför kiselanalyser på dricksvatten längre (Widarsson, muntligt meddelande 2005). Det samma gäller för Sydsvatten, som förser större delen av Skåne med vatten (Johansson, muntligt meddelande 2005). Analysföretaget Analytica anser att kiselhalten i dricksvatten brukar ligga mellan 5 och 10 mg/l (Lindgren, muntligt meddelande 2005), och enligt AnalyCens chefskemist varierar halterna troligen med årstiden, men bör ligga mellan 1 och 20 mg/l (Apelqvist, muntligt meddelande 2005).

I rinnande vatten i naturen har det visat sig att kiselhalten minskar om vattnet däms upp. Anledningen till detta är inte känd. Det mest tydliga exemplet på hur kiselinnehållet i floder förändrades vid uppdämning är Nilen, där kiselhalten minskade med 200  $\mu\text{M}$  vid byggandet av Aswan High Dam.

I Sverige drogs slutsatsen att samma sak gällde här, utifrån en jämförelse av den reglerade Luleälven ( $41\mu\text{M}$ ) och de icke-reglerade Råneåälven ( $128\mu\text{M}$ ) och Kalixälven ( $98\mu\text{M}$ ) (Ohlsson 2001) (se tabell 6.).

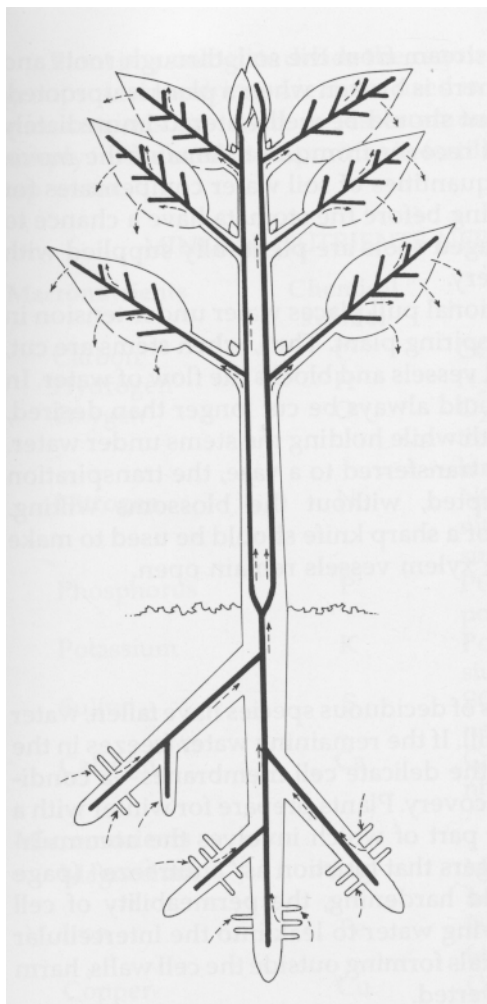
Tabell 6. Förändring av löst kisel ( $\mu\text{M}$ ) i samband med dammbyggen i floder (Ohlsson 2001)

Flod	Före dammbygge	Efter dammbygge
Coloradofloden	225	133
Donau	140	58
Nilen	210	10

## 2.2. Kisel i växten

### 2.2.1. Upptag

Mängden kisel som tas upp varierar mycket mellan olika växtarter (Mengel och Kirkby 1982). Kisel transporteras enbart i växtens xylem tillsammans med vattnet (se figur 2), och upptaget bestäms därför delvis av transpirationshastigheten (Mengel och Kirkby 1982). Upptag av kisel sker i form av kiselsyra, en svag syra som ofta återfinns i cellväggarna och interagerar i dessa med pektin och polyfenoler (Marschner 1995).



Figur 2. Vattnets väg genom växten från upptag till transpiration. Från Botany for gardeners av Brian Capon (Timber Press 1992), (med tillstånd av Willms, muntligt meddelande 2005).

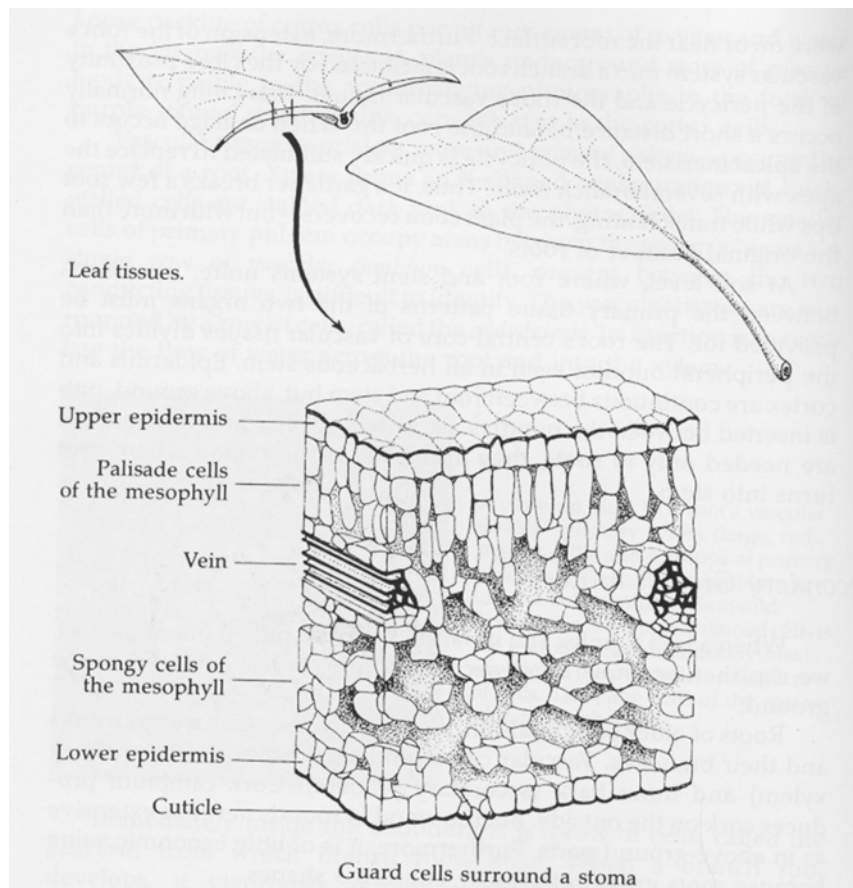
Störst halter av kisel återfanns i fröskal, agnar och växthår, medan halten var lägst i kärnor och frön. Mängden upptagen kisel i en spannmålsgröda kan vara >50 kg/ha och år. Växtsaftanalyser har visat kiselhalter < 350 ppm, normalt ligger halten på 75-200 ppm. När den lösta kiselsyran blir övermättad beroende på plantans transpiration fälls kiselsyran ut i växten i form av amorfa kiselaggregat (Kirchmann och Ericsson 1987).

### **Deposition av kisel**

Hos gräs, *Poaceae*, är kiseldeposition, det vill säga lagring av kisel, ett av växtens viktigaste karaktäristika. Många grästyper är kända för att ha stora lager av kisel i sina vävnader. Angående upptagningssättet finns två hypoteser: (1) kisel absorberas passivt från markvätskan, och (2) upptaget sker aktivt som ett led i växtens fysiologiska aktiviteter. Vid undersökningar av bambuarten *Pleioblastus chino* visade det sig att kisel främst var koncentrerad till epidermis och minst i mesofyll (parenkymvävnad inkluderande pallisadvävnad och svampvävnad, mellan epidermisskikten i bladet), och i de vaskulära vävnaderna. De flesta gräs ackumulerade kisel i epidermis, men deras distribution av ämnet därefter varierade (Motomura et al. 2004). Monokotyledoner kunde ta upp och lagra 10-20 gånger mer kisel än dikotyledoner (Kirchmann och Eriksson 1987).

Hos monokotyledoner är kiseldeposition vanligast hos *Poaceae*, men förekom också hos bland annat *Arecaceae* (palmer), *Cyperaceae* (halvgräs), *Bromeliaceae* (ananasväxter), *Orchidaceae* (orkidéer) och *Zingiberaceae* (ingefärsväxter). Kisel lagrades hos monokotyledoner, främst i blad (se figur 3) och strå, i speciella idioblastceller (isolerade celler som tydligt skiljer sig från omgivande celler och/eller annan vävnad), i epidermala celler och i mesofyllceller, men även i blomställningens högblad samt i sädeskorn och rötter. Av alla monokotyledoner är det enbart *Poaceae* som deponerar amorft kisel i rötterna (Parry et al. 1984).

Mycket lite är känt om kisellagring i sädeskorn. Växthåren på de fyra sädesslagen vete (*Triticum aestivum*), korn (*Hordeum vulgare*), havre (*Avena sativa*) och råg (*Secale cereale*) har alla undersökts och visades innehålla kisel längs med hela håret, dock mest koncentrerat till toppen. En teori är att dessa mikroskopiska hår skulle motverka skadeinsekter och/eller fungera som en lagringsplats för överflödigt kisel som annars skulle kunna inverka i cellmetabolismen i det växande kornet (Parry et al. 1984).



Figur 3. Blad i genomskärning (Leaf tissues= bladvävnader, upper epidermis = övre epidermis, palisade cells of the mesophyll = pallisadvävnad/palissadceller, vein = bladnerv, spongy cells of the mesophyll = svampvävnad, lower epidermis= undre epidermis, cuticle = kutikula)  
Från Botany for gardeners av Brian Capon (Timber Press 1992), (med tillstånd av Willms, muntligt meddelande 2005)

### Olika slags upptag

Marschner (1995) delar in växterna i två grupper beroende på kiselupptag: (1) kiselackumulerande växter, som innehåller omkring 2 % kisel i torrsubstansen, exempelvis *Poaceae* och *Cyperaceae*, och (2) icke-kiselackumulerande växter, som innehåller omkring 0.25% kisel i torrsubstansen (de flesta tvåhjärtbladiga växter, exempelvis rädisa (*Raphanus sativus*) och kinakål (*Brassica rapa*), men även lök (*Allium cepa*)) (Mengel och Kirkby 1982). Mengel och Kirkby (1982) pekar på att det även finns växter som mer eller mindre aktivt utesluter kisel.

Alla är dock eniga om att olika växter tar upp olika mycket kisel från substratet. Marschner (1995) hänvisade till ett försök av Vorm från 1980, där den förmodade kiselhalten räknats fram med hjälp av uppmätt transpiration samt kiselhalt i odlingssubstratet. Detta visade tydligt att ris hade betydligt högre halter av kisel än vad som varit möjligt om ämnet tagits upp passivt med vattnet, vilket tyder på ett aktivt upptag (Marschner 1995).

Tabell 7. Uppmätt och beräknat kiselupptag hos växter odlade i näringslösning med olika kiselkoncentration (Marschner 1995)

Växtslag	Si- koncentration i näringslösningen (mg SiO <sub>2</sub> /l)	Transpirations-koefficient (l H <sub>2</sub> O/kg torrsvikt)	Uppmätt (mg SiO <sub>2</sub> /kg torrsvikt)	Beräknat <sup>1</sup> (mg SiO <sub>2</sub> /kg torrsvikt)	Proportion mätt/beräknat
Ris	0.75	286	10.9	0.2	54.5
	30	248	94.5	7.4	12.7
	162	248	124.0	40.2	3.1
Vete	0.75	295	1.2	0.22	5.5
	30	295	18.4	8.9	2.1
	162	267	41.0	43.3	0.9
Sojaböna	0.75	197	0.2	0.15	1.3
	30	197	1.7	5.9	0.3
	162	197	4.0	31.9	0.1

<sup>1</sup> här antas ett icke selektivt upptag av kisel med vattnet

### Växter med aktivt kiselupptag

Till denna grupp räknas bland annat våtmarksväxande gräs som ris (*Oryza sativa*), men även åkerfräken (Hanson 1992). *Poaceae* (gräs) är en av de växtfamiljer som ofta tycks ta upp kisel aktivt (Kirchmann och Eriksson 1987). *Poaceae* omfattar, tillsammans med diatomeer och växter av familjen *Pinaceae* (tallväxter) några av de organismer som mest effektivt lyckats kolonisera jorden. De har alla en koncentration av 15-20% SiO<sub>2</sub> i torrsubstansen (Mengel och Kirkby 1982).

Gräs indelades redan i slutet av 1800-talet i grupper beroende på dess blad anatomi, av Duval-Jouve. Under 1930-talet kom den första indelningen baserad på kiselcellernas form och bladbehåringen, i vilken fransmannen Prat delade in släktet i tre grupper. Under slutet av 1960-talet splittrades dessa grupper, och ersattes av en indelning i sex, senare sju, grupper (Milby 1971).

De kiselceller som idag återfinns i gräs är vanligen kors- eller sadelformade, men ibland även hantelformade. I nordvästra Kansas, i Ogallalaformationen, fann man på 1980-talet fossila bladfragment med liknande företrädarna som den moderna gräsfamiljen *Chloridoideae*, bland annat hantelformade kiselceller. Detta tyder på att det finns gräsarter idag som är snarlika sådana som växte för mer än 5 miljoner år sedan (Thomasson et al. 1986).

Mellan, och även inom, olika gräsarter varierade upptaget. Bland dem som tog upp mycket återfanns bland annat rajgräs (*Lolium perenne*) och vete. Ackumulation av kisel har dock även påvisats i 32 olika tvåhjärtbladiga lignoser, likväl som i blad av *Magnolia grandiflora*. Bland de örtartade dikotyledonerna som ackumulerade kisel fanns bland annat vissa växter inom familjerna *Cannabaceae* (hampväxter) och *Urticaceae* (nässelväxter). Inom familjen *Fabaceae* (ärtväxter) tog bönor (*Phaseolus vulgaris*) upp, relativt sett, betydligt mer kisel än både ärter (*Pisum sativum*) och klöver (*Trifolium incarnatum*). Trädgårdsbönan, likaväl som soja och solros, tog aktivt upp kisel vid låg koncentration i markvätskan respektive näringslösningen (Hanson 1992).

Kiselupptaget hos ackumulerande växter påverkas inte i speciellt stor utsträckning av transpirationshastigheten, utan är relaterad till rotmetabolismen. Hos korn var upptaget två till tre gånger högre än vad som kan förväntas på grund av transpirationen. Hos ris kan det vara flera hundra gånger högre, vilket visar att metabolisk energi är nödvändig. Upptaget av kisel är även

beroende på sammansättningen av ämnen i marken, exempelvis kan kiselupptaget öka i ris vid höga kvoter Si/Al och Si/Fe (Mengel och Kirkby 1982).

### Växter med passivt kiselupptag

Hos växter med passivt kiselupptag tas kisel upp i samma takt som växten transpirerar. Exempel på detta är bland annat torrmarksgräs som sockerrör, men även vissa dikotyledoner såsom växthusgurka (*Cucumis sativus*). Vid försök med råg och havre ökade kiselhalten proportionellt med stigande koncentration i marklösningen. Det samma gällde för gurka odlad i stenull med olika kiselkoncentration, vilket även det tyder på att kisel tas upp passivt med vattnet. Generellt har växter med passivt kiselupptag 1-3 % kisel i torrsubstansen (Jones och Handreck 1969).

Tabell 8. Jämförelse av kiselhalt i skördemogna havreplantor odlade i två jordar (jord A: 107 mg  $H_4SiO_4/l$  markvätska) och (jord B: 11 mg  $H_4SiO_4/l$  markvätska) (Kirchmann och Ericsson 1987)

	Jord A		Jord B	
Växtedel	Si i ts (%)	Si/växtedel (mg)	Si i ts (%)	Si/växtedel (mg)
Bladskiva	2.5	32.8	0.21	2.9
Bladslida	1.9	21.6	0.18	2.2
Strå	0.5	12.7	0.04	0.9
Inneragnar	4.3	11.7	0.37	0.9
Ytteragnar	3.6	26.6	0.46	2.9
Fröskal	5.0	6.3	0.82	0.9
Kärna	0.03	0.6	0.005	0.09
Borst	3.2	1.5	0.35	0.1
Övriga delar	1.9	3.3	0.24	0.9
Hela toppskott, genomsnitt	1.35	117.1	0.14	11.79

### Växter som undviker kisel

En del växter tycks ha en aktiv barriär mot kiselsyra, antingen inne i roten eller på rotytan. Växter som undviker kisel är framförallt *Fabaceae* (ärtväxter), exempelvis blodklöver (*Trifolium incarnatum*) och sojaböna (*Glycine max*), men även andra tvåhjärtbladiga växter (Mengel och Kirkby 1982). Denna grupp innehåller mycket låga halter kisel, och undersökningar har visat att det aktiva uteslutandet av kisel är energiberoende och liksom det aktiva upptaget styrs metaboliskt (van der Vorm 1980). Hos blodklöver har upptaget visat sig vara förhållandevis stort upp till 8 ppm, varpå upptagskurvan planar ut och växten tar upp mycket små mängder kisel (Jones och Handreck 1969).

Försök har gjorts på sojaböna, solros (*Helianthus annuus*), vete, sockerrör (*Saccharum officinarum*) och ris odlade i näringslösning. Dessa visade att upptaget kunde gå från att vara aktivt vid låg kiselkoncentration i lösningen till ett aktivt utestängande vid hög koncentration. Inga av ovan nämnda växtslag tog upp kisel passivt (Marschner 1995).

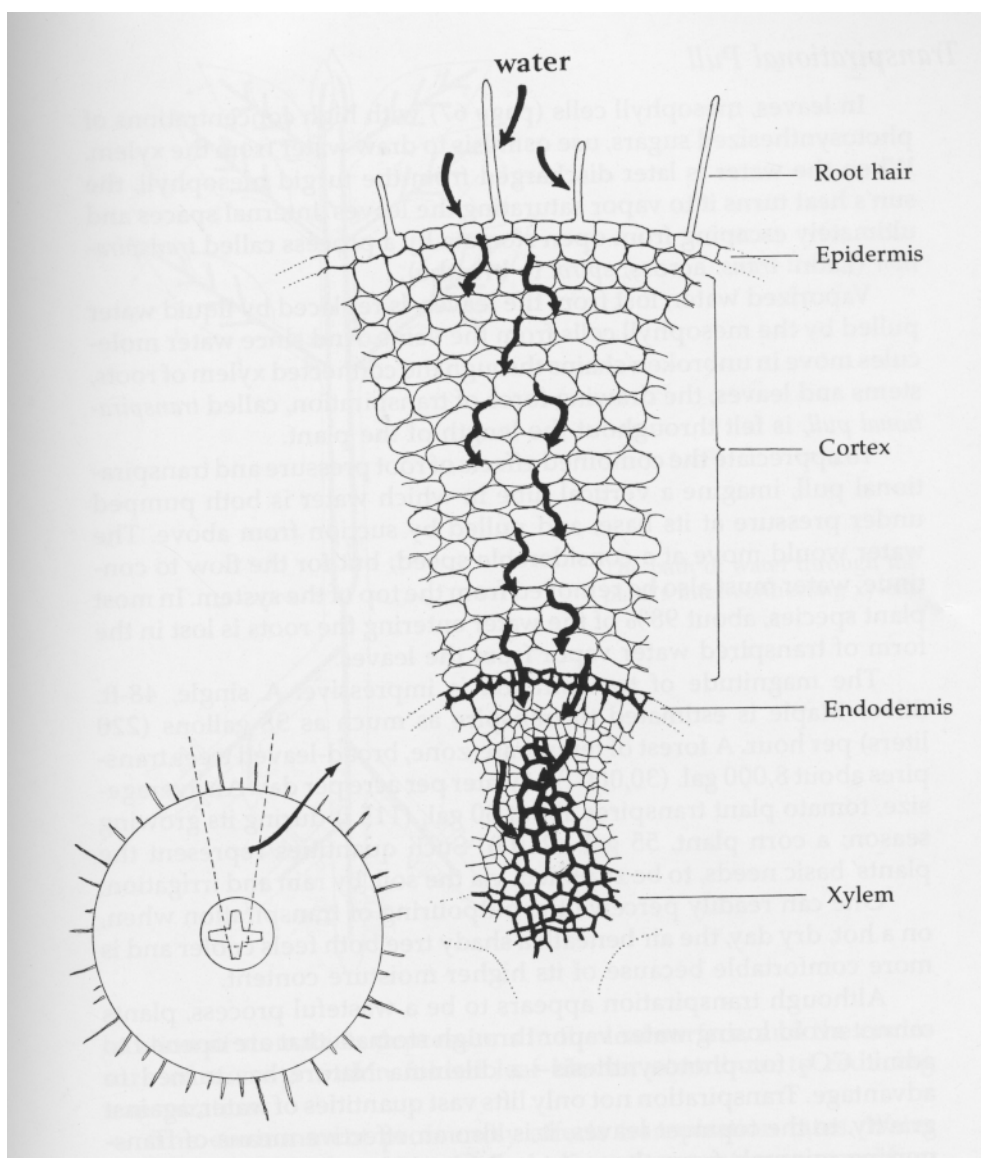
## 2.2.2. Fastläggning och rörlighet

Hur och var kisel inlagras i växten är beroende av växtart. Skillnaderna mellan olika arter är stora (Mengel och Kirkby 1982), men kiselhalten varierar även mellan olika växtdelar. Äldre växtdelar innehåller vanligen mer än yngre (Kirchmann och Ericsson 1987). Hos arter med lågt kiselinnehåll, exempelvis tomat (*Solanum lycopersicon*), rädisa och kinakål, är kisel jämnt fördelad i plantan och skillnaden mellan rot och topp är liten (Mengel och Kirkby 1982). En tendens till högre inlagring i roten än i toppen har observerats. Hos sojaböna, solros, sockerrör och vete återfanns dock upp till dubbelt så mycket av den inlagrade kisel i bladen som i roten (Hanson 1992). I blodklöver lagrades mest kisel i blad och foderblad, och minst i stam, frön och

blommor. Blommorna stod endast för 8.5-12.1% av det totala kiselinnehållet (Jones och Handreck 1969). När kisel tagits upp av växten var distributionen oberoende av mängden upptagen kisel, vilket enligt Jones och Handreck (1969) indikerar att ämnet efter upptag transporteras och distribueras med vattnet.

Hos växter med högt kiselinnehåll, såsom ris och havre, samlades kisel till över 90 % i toppen av växten. När ämnet fastlagts blir det fullständigt immobilt i växten (Mengel och Kirkby 1982).

Studier i mitten av 1970-talet visade att kiseldeposition i rötterna kunde ske hela vägen utmed transpirationsströmmen, och att det generellt fanns två mönster. Kisel kunde (1) vara begränsad till endodermis eller (2) uppträda i de flesta rotvävnader. Det senare sades vara vanligare i gamla rötter och i adventivrötter, exempelvis i blåtåtel (*Molinia cearulea*) (Sangster 1978). Sangster (1978) menade därför att rötternas ålder var en viktig faktor för att kunna möjliggöra jämförelser mellan olika undersökningar.



Figur 4. Rotens delar och vattnets väg genom dem. Från Botany for gardeners av Brian Capon (Timber Press 1992), (med tillstånd av Willms, muntligt meddelande 2005).

I de flesta gräsarter som undersökts var kisel nära förknippat med ITW (inner tangential walls) i endodermis. Sangster (1978) ansåg att de påtagliga mängder kisel som passerade genom transpirationsströmmen i gräs kunde bero på frånvaron av fetthaltiga substanser (fatty substances) på rothårens yta, vilka annars skulle ha stoppat kiseltransporten.

Tabell 9. Kiseldeposition i rötterna hos *Poaceae* (Sangster 1978)

Vävnader	Typ av deposition	Familj och släkte
Enbart endodermis	Aggregat	Andropogoneae; <i>Andropogon</i> , <i>Cleistachne</i> , <i>Cymbopogon</i> , <i>Erianthus</i> , <i>Miscanthus</i> , <i>Saccharum</i> , <i>Sorghastrum</i> , <i>Sorghum</i>
Enbart endodermis	Inga aggregat, kisel befintligt inuti ITW	Panicaceae; <i>Digitaria</i> och Oryzeae; <i>Oryza sativa</i> (ris)
Endodermis	Kisel troligen inuti ITW	Chlorideae; <i>Bouteloua</i>
Endodermis, epidermis, sklerenkym och xylemkärl	Kompakt kisel i ytliga och inre lager, alla cellväggar	Danthonieae; <i>Molinia caerulea</i> och Oryzeae; <i>Oryza sativa</i>
Troligen xylemtrakeider	Kompakt kisel i väggar	Aveneae; <i>Avena sativa</i> (havre)

För att undersöka var i växten kisel fastläggs används olika metoder, bland annat tillsätts indikatorämnen. Forskare i Kalifornien fann ett fluorescerande ämne, PDPMO (2-(4-pyridyl)-5-((4-(2-dimethylaminoethylaminocarbamoyl)methoxy)-phenyl)oxazole). Detta ämne gav vid pH 3-7 och i närvaro av >3.2 mM (89.9 ppm) kisel syra eller motsvarande mängd kiselgel ett klart gulgrönt sken. Halter på 100 mM (2809 ppm) kisel gav påfallande effekt. De områden i växten där kisel nyligen deponerats syntes klart omkring en timme efter upptag. Färgen på PDPMO påverkades av pH, från gult vid pH <5 till blått vid pH >6 (Shimizu et al. 2001). Försöken utfördes på celler av diatomén *Thalassiosira weissflogii*. Enligt Shimizu et al. (2001) kan resultaten dock överföras på svampar och högre växter för att se hur och var kisel deponeras i dem, samt på människor för att kunna spåra kiselrelaterade cancerformer.

### 2.2.3. Brist och toxicitet

Hos många arter ger kiselbrist ett hängande, visset utseende med torra blad. Tidig dokumentation av kiselbrist kom från Institutionen för växtpatologi vid Bonns universitet. Försök gjordes där på ett flertal olika växtslag. Bland annat konstaterades att kiselbrist i gräs yttrade sig i form av ett hängande växtsätt och mindre styva blad än hos de plantor som tillförts kisel. Hos ris syntes vid brist tydliga ljusgula ränder mellan bladnerverna på mittersta delen av bladet. Efterhand blev dessa ränder alltmer bruna och bredde ut sig över mer eller mindre hela bladbredden, varpå bladspetsen som regel torkade in. Ris drabbades i försöket även av kraftiga tillväxtdepressioner. Dessa förklarades med kiselbrist. Hos gurka uppträdde vid låg kiselhalt nekrotiska fläckar oregelbundet på bladet och bladkanterna rullade sig nedåt. Många andra växtslag reagerade med ljusare blad än normalt (Wagner 1940).

På gräs och spannmål syns ofta nekrotiska fläckar vid kiselbrist. Dessa tros dock snarare beror på mangan - och/eller järnförgiftning än på brist på kisel. Nämnade förgiftningar är vanliga i substrat där kiselhalten är låg (Mengel och Kirkby 1982).



I ris som saknar kisel reduceras den vegetativa tillväxten och kornproduktionen signifikant, och bristsymptom som nekros på adulta blad förekommer. Risplantan klarar dock av att fullfölja sin livscykel även utan kisel, vilket innebär att kisel inte kan anses som essentiellt för växten. Även sockerrör reagerade starkt på kiseltillförsel. I fält krävdes 1 % Si (av plantans torrsvikt) för optimal avkastning. Sänktes nivån till omkring 0.25% sjönk också avkastningen till omkring hälften. Dessutom uppträdde bristsymptom som bladfläckar, främst vid full solexponering. I växthus däremot var behovet av kisel för sockerrör extremt lågt, vilket indikerar att kisel inte heller här är essentiellt. Bristsymptom tycktes även på andra växtslag bli extra tydliga vid hög ljuskoncentration (Marschner 1995). Hos tomat har bristsymptom registrerats i form av dålig pollinering och missformade frukter, dock bara i växtens reproduktiva stadium. Växthusgurka har vid låga kiselhalter uppvisat missformade blad samt försämrade pollengröning (Hanson 1992).

Eftersom kisel är så vanligt förekommande i naturen är det mycket svårt att påvisa som essentiellt mikronäringsämne. Till och med renat vatten innehåller omkring 20 nM kisel, vilket gör att kiselackumulerande växter kan innehålla 1-4 mg Si/g bladtorrsvikt utan extra tillförsel (Marschner 1995). Några toxiska effekter av kisel finns inte omskrivna, möjligen beroende på att många växter aktivt undviker kiselupptag vid höga koncentrationer.

### 3. Kisel som växtstärkande ämne

Kisels funktion som växtstärkande ämne uppmärksammades tidigt. Mest omskrivet är troligen effekterna mot patogener som svampar och insekter, men kisel har även visats förbättra fotosyntesen och stabiliteten samt minska transpirationen hos högre växter.

Tabell 10 Sammanställning av i texten nämnda preparat och substanser

Preparat	Beskrivning	Kiselinnehåll (%) torrsvikt
Baralith, basaltmjöl	Baralith är en naturlig vittringsprodukt från grönsten, där basalt av diabas och hyperit ingår. Saluförs av Bara Mineraler AB (Johansson Kron, muntligt meddelande 2005).	Omkring 43% SiO <sub>2</sub> (Johansson Kron, muntligt meddelande 2005).
Diatomit	Kiselhaltigt mineral bestående av resterna av diatoméer, encelliga kiselagrande mikroalger. Mikroalgerna tar upp kisel direkt från vattnet och dess cellväggar huvudsakligen består av amorft kisel. Diatoméer är vanligt förekommande i alla akvatiska miljöer (hav, sjöar, floder, våtmarker och till och med jord) där det finns tillräckligt med ljus (Ohlsson 2001). Diatomit är mycket uniformt i partikelstorlek, har en välordnad struktur och finns tillgängligt i naturen i stora mängder (Shimizu et al. 2001). Ämnet utvinns bland annat i USA, Danmark och Frankrike (Ross 1981). Diatomit har låg löslighet i vatten (Bohlin, muntligt meddelande 2005).	32-40% (Bohlin, muntligt meddelande 2005)
Kaliumsilikat	Kallas även kalivattenglas. Kaliumsilikat har relativt god löslighet i vatten, och är pH - höjande (Bohlin, muntligt meddelande 2005).	30 % (Bohlin, muntligt meddelande 2005).
Kiselsyra och kiselsyrapulver	Monokiselsyrans löslighet i vatten är vid 25° omkring 2 mM (56 ppm) (Marschner 1995).	Innehåller omkring 35% Si (Bohlin, muntligt meddelande 2005).
Masugnsslagg	Biprodukt vid råjärnframställning. Luftkyld masugnsslagg är en homogen kristallin produkt medan vattenkyld slagg är amorf och består av porösa granuler (Kirchmann och Eriksson 1987).	16-20.2% (Kirchmann och Eriksson 1987).
Natriumsilikat	Natriumsilikat har högt pH (Bohlin, muntligt meddelande 2005). Preparatet kallas också vattenglas (Hanson 1992).	30-<50% (Bohlin, muntligt meddelande 2005).
Stenull	Vanligen betraktat som inert (Pettersson 1995).	45% (Pettersson 1995).
Risagnar	Fröskalet från skördat ris (Hanson 1992).	Omkring 14.5% SiO <sub>2</sub> (Hanson 1992)

## 3.1. Kisel till rotmiljön

### 3.1.1. Tillväxt och stabilitet

#### Tillväxt

Det finns mycket få belägg för att kisel skulle ha en positiv inverkan på tillväxt, dock med enstaka påfallande undantag. Miyake och Takahashi (1983) visade att gurka odlad i näringslösning utan kisel tillförsel fick iögonfallande bristsymptom. Tillväxten för båda leden (100 ppm SiO<sub>2</sub> respektive 0 ppm SiO<sub>2</sub>) var den samma fram till strax efter första blomknoppen. I detta stadium fick blad 8 eller 9 på de icke kiselbehandlade plantorna deformerade blad. De efterföljande bladen var dock normala. I allvarliga fall torkade bladen nedifrån och upp på de plantor som odlats utan kisel. I en del upprepningar återfanns även svullnader på rötterna. De plantor som tillförts kisel var också märkbart större än de som inte tillförts kisel, i alla upprepningar av försöket (se tabell 10) (Miyake och Takahashi 1983).

Tabell 11. Skottlängd (cm/planta) och vikt (g/planta) hos gurka odlad med (100 ppm SiO<sub>2</sub>) eller utan kisel. Försöket omfattar 12 upprepningar, vilket vart och ett innefattar 4 plantor (Miyake och Takahashi 1983, modifierad)

Gurksort	Skottlängd + Si	Skottlängd – Si	Skottvikt + Si	Skottvikt - Si
Suyo	130	109	26.8	22.4
Suyo	47	23	13.8	11.8
Suyo	48	24	20.1	11.3
Suyo	39	23	9.5	7.0
Suyo	68	34	25.8	22.9
Suyo	82	39	25.6	20.1
Suyo	85	45	21.5	17.6
Suyo	73	37	12.9	11.2
Suyo	60	37	21.2	13.7
Kurumeochiai H.	259	207	46.0	33.0
Kurumeochiai H.	183	159	21.4	15.2
Suyo	196	174	70.6	59.7

Taiichiro et al. (2003) har påvisat förbättrad rottillväxt hos durra, *Sorghum bicolor*, vid tillsats av kisel till näringslösningen. Hypotesen är att detta beror på att kisel ökar celleelasticiteten hos växten.

#### Stabilisering av växtvävnad

Vid mitten av 1800-talet framlade Justus von Liebig teorin att det var kiselbrist i strån som förorsakade liggsäd. Fenomenet har diskuterats mycket sedan dess. Bland annat har variationerna i stråstyrka förklarats med anatomiska olikheter såsom strådiameter och stråcellväggens tjocklek. Hypotesen om kisels inverkan har dock inte förkastats. I tyska försök från 1970-talet snarare belades hypotesen, då stråstyvheten undersöktes (av vem framgår inte) genom att mäta den kraft som erfordrades för att bryta dem. I snitt kunde 6 % större stråstyvhet uppmätas hos de kiselbehandlade grödorna. I Japan har undersökningar gjorts på kisels inverkan på bladstyvhet i ris (inte heller här framgår vem som utfört försöket). Vid låga kiselhalter i bladen var de mindre styva, vilket resulterade i ett mer hängande växtsätt. Detta medförde en lägre grad av ljusutnyttjande, mindre fotosyntes och därmed sänkt biomassaproduktion (Kirchmann och

Eriksson 1987). Även i dikotyledoner, bland annat gurka, ökade kisel bladens stabilitet, klorofyllhalt och försenade dess åldrande (Marschner 1995).

Hos durra (*Sorghum bicolor*) lagras kisel bland annat i rötternas endodermala vävnader. Denna deposition av kisel tros skydda de vaskulära vävnaderna i stele mot parasitangrepp och torka. Detta genom att göra de endodermala cellerna hårdare och därmed svårare att tränga in i (Taiichiro et al. 2003). Taiichiro et al. (2003) visade på detta fenomen genom att mäta rötterna hos durra odlad i näringslösning, med och utan kiseltillsats, på tre olika ställen; baszon, apikal zon och subapikal zon. De fann att kiseltillsats minskade cellväggens elasticitet i baszonen som istället hårdare. Å andra sidan ökade elasticiteten med omkring 12 % i de andra zonerna, något som man menar sig kunna bevisa berodde på kiseltillförseln. Denna förbättrade celleelasticitet anses även inverka positivt på tillväxten (Taiichiro et al. 2003).

Även Marschner (1995) menar att kisel inte bara verkar stabiliserande, utan även ökar celleelasticiteten. I cellväggarna interagerar kisel med cellväggssubstanser såsom pektin och polyfenoler. Dessa tillsammans tycks medföra ökad celleelasticitet under tillväxten, något som speciellt blir tydligt i loblollytall, (*Pinus teada*) under torkstress. Växter behandlade med kisel tog i detta sammanhang inte upp mer kisel än icke behandlade, däremot var de kiselbehandlade växternas celleelasticitet bättre (Marschner 1995). Kisel trängde även in i rötternas endodermis och i xylemens cellväggar, och förebyggde därmed en sammanpressning av kärnen vid hög transpiration (Mengel och Kirkby 1982). Hos åkerfräken blir kisels stabiliserande effekt ytterst tydlig. Växten innehåller <20 % Si i torrsubstansen, och vid brist eller total frånvaro av kisel förmår inga delar av växten växa upprätt. Istället kryper växten utmed marken och saknar helt strukturstyvhet. En del anser därför kisel som varande essentiellt för denna växt (Kirchmann och Ericsson 1987).

Enligt Marschner (1995) påverkar kisel stabiliteten hos växter inte bara mekaniskt genom deposition av kisel i förvedade celler, utan också genom att inverka i biosyntes av lignin. Detta sker genom att kiselsyra kan påverka o-fenoler såsom koffeinsyra och därtill relaterade estrar, vilka formar kiselkomplex med hög stabilitet och låg löslighet. Energiåtgången för upptag av kisel är låg jämfört med exempelvis produktion av lignin (Marschner 1995).

För att undersöka vilken inverkan kisel har på gräs vid högt betestryck, insamlades och analyserades gräs och gödsel i Serengeti nationalpark i norra Tanzania. Kiselkoncentrationen visade sig vara högst i vävnader hos plantor insamlade i fält med högt betestryck, samt i växtdelar som producerats tidigt på säsongen.

Även djurens gödsel innehöll betydande mängder kisel. Kisel (i vilka koncentrationer framgår inte) i odlingssubstratet befrämjade avkastningen med 18 % jämfört med kontrolleret, och i en art (vilken framgår inte av artikeln) främjades även blomningen av tillförd kisel. Bladen blev större hos de plantor från fält med högt betestryck som tillförts kisel, och klorofyllinnehållet ökade med 15 % (McNaughton et al. 1985).

### **Minskning av transpiration**

Enligt flera källor (Wagner 1940, Mengel och Kirkby 1982, Kirchmann och Eriksson 1987) har kisel en transpirationssänkande inverkan på växten. Mengel och Kirkby (1982) ansåg att kiselackumulation i epidermis minskade vattenförlusten från kutikulan hos växter som är välförsedda med kisel. Transpirationsminskningen varierade både mellan och inom arter (Marschner 1995). Mekanismen bakom denna transpirationssänkning är inte helt klarlagd. Vissa forskare förmodar att det handlar om att silikatavlagringar intensifierade vaxskiktet på bladytan, vilket minskade transpirationen (Kirchmann och Ericsson 1987). Andra anser att ett fint kisellager kisel i sig själv kan fungera som en yttre barriär mot avdunstning (Pettersson 1995). Wagner (1940) visade att tillförsel av 35-70 SiO<sub>2</sub> minskade transpirationen med upp till 124 %.

Han förklarade fenomenet till dels med att de icke kiselbehandlade plantorna hade fler öppna klyvöppningar än de kiselbehandlade ( $10.35/\text{mm}^2$  bladyta gentemot  $8.75/\text{mm}^2$ ). Han menade även att växter som behandlats med kisel på det hela taget förbrukade mindre mängd vatten/samma mängd torrsubstans än vad icke kiselbehandlade växter gjorde. Kisels transpirationsminskande verkan är känd sedan länge. Wagner (1940) hänvisar till källor från det sena 1800-talet och början av 1900-talet som omtalade att kisel hade en mer gynnsam verkan på torra jordar än på fuktiga.

Kirchmann och Eriksson (1987) refererade till undersökningar, från 1960-talet på ris (vem som genomfört undersökningarna framgår inte), som visade att transpirationen minskade i takt med stigande kiselhalter. I en av dessa undersökningar varierades kiselhalten i näringslösningen under två månader från 0-47 ppm Si. Transpirationen sänktes under denna period från 5.1 ml vatten/g friskvikt vid 0 ppm Si till 3.6 ml vatten/g vid 47 ppm Si/dygn. Även i veteskott gav kiselinnehåll tydligt lägre transpirationshastighet (Kirchmann och Eriksson 1987).

Fenomenet tros även göra växten mer tolerant mot vattenstress. Hos gurka hade kisel en positiv inverkan även vid torkstress. Detta genom att fotosyntesen ökade något samtidigt som aktiviteten i stomata (klyvöppningarna) sänktes. Då den stomatala aktiviteten minskade, ökade den vattenhållande förmågan och höll transpirationshastigheten på en jämn nivå, trots torkan. Vid kraftig torkstress visade de biokemiska reaktionerna i gurkplantorna en positiv korrelation till mängden tillfört kisel. Med stigande kiselhalt i substratet ökade de reaktioner hos plantan som höll kvar vatten och vidhöll fotosyntesen (Ma et al. 2004).

### **Förbättrad fotosyntes**

Också på fotosyntesen tros kisel ha effekt. Kirchmann och Ericsson (1987) omskrev det som ett då nyupptäckt fenomen, vilket de kallade fönstereffekt. Man fann att kiselceller i växtens epidermis möjliggjorde bättre ljustransport till den underliggande fotosyntesvävnaden jämfört med celler utan kiselavlagring. Upptäckten hade bland annat konstaterats på sockerrör (av vem framgår inte). Mellan olika sorters sockerrör fanns stora skillnader i kiselhalt. En hypotes är att sorter med kraftig kiselavlagring har en större fotosynteskapacitet än sorter med låg kiselhalt (Kirchmann och Ericsson 1987).

Hos gurka iakttogs att kiseltilförsel inte ökade den slutliga storleken på de vuxna bladen. Däremot fick bladen en grövre textur, hölls mer horisontellt och hade samma karaktäristika som blad som vuxit vid en högre ljusintensitet (kortare bladskåft, ökad frisk- och torrsvikt hos rötterna, försenat åldrande av bladen, ökat klorofyllinnehåll och mer mörkgröna blad).

Samma bladställningsfenomen har iakttagits även hos ris och stråsäd (Mengel och Kirkby 1982, Adatia och Besford 1986). Kraftig kvävetillförsel kan göra bladen mer hängande. Även Marschner (1995) menade att kisel, främst i täta bestånd av säd- inte minst vid allt för hög kvävegödsling då det kan förhindra att plantornas blad skuggar ut varandra genom att bladen hålls mer horisontellt. Hans resonemang baserades på kiseldeposition i bladens epidermala lager.

Både Ma et al. (2004) och Liang et al. (1996) menade att kiseltilförsel kan öka fotosyntesen hos växter under stress, exempelvis gurka under torkstress och korn under saltstress.

### **Inflytande på upptag av andra näringsämnen**

Näring kan tas upp i växten via bladen och via roten. För att näringsämnen ska kunna tas upp av roten krävs att de finns lösta i markvätskan (vanligen i form av joner). Jonerna är fästa på ler- och humuskolloider (de minsta partiklarna i jorden) genom adsorption. Kolloiderna är negativt laddade och attraherar därmed katjoner, positivt laddade joner. Jonbytet sker mellan markpartiklarna och markvätskan, en positivt laddad jon mot en annan positivt laddad jon. När

roten tar upp joner lämnar den istället vätejoner till markvätskan. Hur hårt jonerna är bundna till partiklarna beror bland annat på jordens pH, hur stor mängd av ämnet som finns löst i markvätskan, samt vilka andra ämnen som finns tillgängliga. En del ämnen tas upp lättare av växten, och kan därmed försvåra upptag av andra (Fogelfors 2001). Kisel påverkar inte bara växten som ämnet tas upp av, utan kan även ha inverkan på upptaget av andra näringsämnen (Shkolnik 1984).

### Mangan

Enligt Shkolnik (1984) kunde kisel förebygga både brist på och toxiska effekter av mangan. På bön- och kornplantor gav kisel ingen effekt vid låga manganhalter. Vid höga koncentrationer kunde det förebygga (vid  $5.0\mu\text{M Mn}$ ) eller minska (vid  $10\mu\text{M Mn}$ ) den kraftiga tillväxtdepression som manganförgiftning annars kan orsaka (Marschner 1995).



Figur 5. Symptom på manganbrist hos tomat. Från Diagnosis of mineral disorders in plants, vol. 3, glasshouse crops av MAFF/AFRC (med tillstånd av Nokes, muntligt meddelande 2005).



Figur 6. Symptom på toxiska effekter av mangan på tomat. Från Diagnosis of mineral disorders in plants, vol. 3, glasshouse crops av MAFF/AFRC (med tillstånd av Nokes, muntligt meddelande 2005).

Tillväxteffekten ansågs inte bero på kisel i sig, utan på att kisel mildrade den toxiska effekten av mangan. Upptaget av mangan minskade inte, men plantan gjordes mer tolerant genom att kisel utjämnade mangandistributionen i bladvävnaderna. Utan kiseltillförsel förflyttades mangan stötvís, vilket gav manganförgiftningens tydliga symptom såsom bruna fläckar omgivna av nekrotiska eller klorotiska zoner. Genom att kisel utjämnade distributionen i växten härdades vävnaderna. De kritiska mängderna mangan varierade dock mycket (Marschner 1995).

Vid kiseltillförsel i ris ökade manganinnehållet i rötterna (likväl som innehållet/planta). Detta visade på att kisel i ris och andra ackumulerande växter ökar förmågan hos rötterna att förflytta syre istället för att minska upptaget. Hypotesen är att denna effekt uppnåddes genom att kisel ökade antalet, volymen och styvheten hos aerenchyma (luftfyllda områden i skott och rötter vilka transporterar O<sub>2</sub>) vilket i sin tur förbättrade syretransporten från skotten till rotsystemet som tagit upp höga mängder mangan. Effekten kunde också observeras hos råg, vete, havre (Marschner 1995) samt till viss del hos sojaböna (Kluthcouski och Nelson 1980). Hos havre fanns fenomenet belagt 1957 (Shkolnik 1984).

### Andra ämnen

Tillsats av kisel resulterade även i sänkta halter av kväve, kalium och järn, samt motverkade zinkbrist. Det senare skedde genom ökad mängd tillgängligt zink i växten. Mekanismen för detta är inte helt känd (Marschner 1995). Fosfor-, kalcium- och magnesiumhalterna ökade vid tillsats av kisel (Kirchmann och Ericsson 1987). Tillförsel av kisel har också visats förbättra aluminiumtoleransen hos teosint (*Zea ssp.*), en trolig anfader till majs, odlad i näringslösning. Hos växter som ackumulerar kisel blev växten mer tolerant genom att undertrycka järn- och främst manganinnehållet i skotten (Marschner 1995).

Även ämnet germanium är redan vid låga koncentrationer extremt giftigt för många växter. Germaniumsyra hämmar tillväxten för bland annat *Sinapsis alba* (vitsenap), *Wolffia arrhiza* (dvärgandmat), *Nicotiana tabacum* (virginiatobak), *Tradescantia fluminensis* (vandrande jude), *Zinnia elegans* (Zinnia) och *Secale cereale* (råg). Gifteffekten kunde dock hävas med kiseltillförsel (Shkolnik 1984).

Genom sin förmåga att öka eller minska upptaget av andra ämnen i växter har kisel kunnat fylla en ytterst viktig funktion i salthaltiga jordar; att minska upptaget av natrium samt och att göra växterna mer toleranta för höga salthalter. I korn har tillförsel av kisel till två sorter, den saltkänsliga *Hordeum vulgare* L. Kepin No. 7 och den salttoleranta *Hordeum vulgare* L. Jian 4, undersökts. Tillförsel av 1.0 mM (28.09 ppm) Si till en lösning innehållande 120 mM NaCl kunde för saltkänsliga sorter öka skörden med 18% (ts). Hos den salttåliga sorten odlad i motsvarande näringslösning ökade skörden med 15.2% vid tillsats av 0.5 mM (14.05 ppm) Si (Liang et al. 1996). Enstaka undersökningar har visat att kiselsyra i en lösning skulle kunna öka upptaget av tungmetaller såsom kobolt, nickel och zink i lerjordar (Kabata-Pendias och Pendias 1992).

### 3.1.2. Skörd och lagring

#### Gurka

Enligt Pettersson (1995) har kiseltillförsel till gurka odlad i stenull inte givit någon kvantitativ effekt på skörden. Christensson (1991b) hävdade det motsatta. Christensson refererade i Fakta Trädgård nr. 892 till egna försök med tillförsel av kisel till växthusgurka.

I försöket hade 8-11 ppm Si tillförts bevattningsvattnet, vilket gav en skördeökning på 5-8 %. Han beräknar en meravkastning på omkring 4 % vid tillförsel av 10 ppm kisel. I samma artikel framgår även att avkastningen inte ökade ytterligare vid tillförsel av 30-50 ppm Si (Christensson 1991b). Även Miyake och Takahashi (1983) menade att kiseltilförsel till gurka hade en kvantitativ effekt på skörden, dock först vid betydligt högre kiselhalter än de Christensson omskriver. Miyake och Takahashi (1983) visade i försök på högre friskvikt hos skörden, större rotmassa och antydan till fler blad hos plantor som tillförts 100 ppm SiO<sub>2</sub> än hos plantor som inte tillförts kisel (se tabell 12).

Tabell 12. Effekt av kisel på vegetativa och generativa variabler hos gurka. Kisel tillfördes i fyra koncentrationer (0, 5, 20 och 100 ppm SiO<sub>2</sub>) (Miyake och Takahashi 1983).

	Tillförsel			
	0	5	20	100
Topplängd (cm)	180	205	231	238
Toppvikt (g torrsvikt)	64.1	70.9	78.8	94.6
Rotvikt (g torrsvikt)	5.6	4.5	5.0	5.4
Antal frukter	0.3	1.7	2.5	4.5
Fruktvikt (g friskvikt)	8	67	142	261

Ur lagrings- och transportsynpunkt hade kisel den positiva effekten att gulkornas fasthet ökat samt att de fått en grövre textur och blivit grönnare (Mengel och Kirkby 1982). Samtidigt fick gulkorna ett kraftigare vaxlager. Detta gjorde dem mer hållbara, men också gav dem mattare glans än annars (Balvoll 1991). Samuels et al. (1993) visade och beskrev att detta berodde på en förändring i ytan. Ytförändringen sades vara identisk med de s.k. "silica bodies", kiselkroppar, som tidigare beskrivits på andra växtslag, och förklarades med kiselinlagring som en direkt följd av tillförseln. Angående vaxlagret på fruktytan är det okänt huruvida vaxproduktionen stimulerades av kiseltilförsel eller om den bara tycktes mer riklig. Detta har inte undersökts. I samma undersökning fann man att gulkans skal, oavsett kiseltilförsel till substratet, innehöll förhållandevis mer kisel än vad fruktköttet gjorde (se tabell 12) (Samuels et al. 1993).

Tabell 13. Kiselinnehåll i olika delar av gulfrukten (ppm), beroende på kiseltilförsel (Samuels et al. 1993)

Kiseltilförsel (ppm)	Gulkskal	Gulkkött
100	247	124
0	82	21

Även på fertiliteten hos gulpollen tycks kisel haft effekt. Japanska försök visade att tillförsel av 100 ppm SiO<sub>2</sub> till gulplantornas substrat hade en positiv inverkan på pollenets fertilitet. Tidpunkten för tillförsel tycktes däremot oväsentlig (se tabell 14) (Miyake och Takahashi 1983).

Tabell 14. Effekt av kiseltilförsel på pollenfertilitet hos gulka (Miyake och Takahashi 1983).

Behandling (ppm SiO <sub>2</sub> )	Tillväxtstadium	Fertilitetsgrad
0	Före blomning	85
0	Under blomning	83
100	Före blomning	97
100	Under blomning	97



## Rosor

Bland blomsterväxterna är rosor en av de få vars reaktion på kisel undersökts. Christensson (1991a) konstaterade att rosor kunde ta upp mer kisel i stenullsodling jämfört med vad gurkor i samma substrat kunde. Skillnaderna mellan de olika företagen som undersöktes var dock mycket stora. Även mellan olika undersökningar är skillnaderna stora. År 1991 rapporterades att tillförsel av kisel i rosor inte påverkade tillväxt, produktion eller mjöldaggsresistens, men att det krävdes ytterligare undersökningar för att fastställa effekterna (Christensson 1991a). Redan två år senare påvisades dock att det fanns en skillnad. Kiseltillförsel gav då fler (men aningen mindre) blommor/m<sup>2</sup> odlingsyta (Christensson 1993).

## Begonia

I växthuskulturer, bortsett från gurka, är upptag och behov av kisel fortfarande väldigt lite undersökt. I början av 1990-talet genomförde Hasselfors garden ett försök med nio sorter av *Begonia elator*, testat i 14 substrat. Totalt omfattade försöket 1000 plantor och pågick i nio veckor. Då kiseltillförsel tidigare givit bra resultat mot mjöldagg hos gurka ville man undersöka om ämnet hade samma verkan hos den mjöldaggs känsliga begonian. Grundsustratet var låghumifierad, mediumgrov stycketorv, vilken i sig själv var kiselfattig (Bohlin 1991).

Försöket visade att bladfärg, blomningstid, rotmängd och utveckling i övrigt skilde sig mycket lite mellan leden. Undantaget var de led som tillförts kisel med bevattningen. Dessa hade ett högre ledningstal än övriga (Bohlin 1991). Enligt författaren berodde detta resultat troligen på att de plantor som tillförts kisel och näring via bevattningen vattnats separat (Bohlin, muntligt meddelande 2005). Dessa näringsbevattnade plantor var lägre än de övriga i försöket. Begonia innehöll i genomsnitt 0.03 % kisel (ts). Även i det led som tagit upp mest kisel motsvarade upptaget inte transpirationen. Detta tyder på ett aktivt utestängande av kisel. Försöket gav dock inga svar på huruvida kisel har någon skyddande effekt på begonia, då inget av leden fick några större mjöldaggsangrepp (Bohlin 1991). Enligt Claes Bohlin som genomfört försöket är det osannolikt att kisel skulle kunna ge någon effekt i begonia då plantorna inte ökade sitt kiselinnehåll i någon större utsträckning (Bohlin, muntligt meddelande 2005).

## Ris

Hos ris, som är en av de växter som reagerat allra tydligast på kiseltillförsel, finns en tydlig relation mellan kiselinnehåll i ris, stjälk och risskörd. Speciellt gynnas risets reproduktiva organ, axet, något som även var fördelaktigt för kornvikten (Mengel och Kirkby 1982).

## Lignoser

Det är främst i örtartade kulturväxter som kisels funktion har undersökts, men ett fåtal försök finns även kring lignoser. Hos lignoserna är det inte främst växtens hållbarhet, lagringsduglighet och motstånd mot sjukdomar som undersökts, utan andra kvaliteter. I träd fyllde kisel exempelvis en mycket speciell funktion, då kiselhaltig ved enligt Kataki och Komwer (2002) avgav värme långsammare och höll värmen längre efter att elden slocknat, än ved som inte innehöll kisel. Då omkring 14 % av den totala energianvändningen i världen 2002 utgjordes av biomassa menade de att det var oerhört viktigt att effektivisera användandet av ved, främst i trädfattiga trakter i utvecklingsländer. Trädarter med kiselhalter på över 0.7 % torrsvikt var i detta sammanhang att föredra. Trettiofem i Indien inhemska arter undersöktes. Alla testade *Quercus* -arter; *Q. delbata*, *Q. glauca* och *Q. semicaprifolia* såväl som *Sapindus laurifolius*, *Symplocos crataegioides*, *Terminalia chebula*, *Terminalia tomentosa* och *Shorea robusta* hade halter över den önskade minimigränsen och var därmed ur denna synpunkt lämpliga för eldning (Kataki och Konwer 2002). I Sverige har kiselupptag hos gran (*Picea abies*) och tall (*Pinus sylvestris*) undersökts av Hasselfors garden. Inget av dessa trädslag tog upp några större mängder kisel.

Granplantorna hade vid slutkontroll i snitt 0.043% kisel i torrsubstansen och tallplantorna 0.035% (Bohlin, muntligt meddelande 2005).

Mellan och inom olika träarter varierar koncentrationerna av kisel mycket. I Storbritannien har bland annat 17 år gamla provenienser av teak (*Tectona grandis*) undersökts. Innehållet i de olika provenienserna varierande mellan 0.27 % och 0.66 % (Kjaer et al. 1999)

### 3.1.3. Växtpatologiska effekter

#### Svampangrepp

Svampsjukdomar kan i växtodling vara ett mycket stort problem, inte minst eftersom många parasiterande svampar, exempelvis kärlparasiter, befinner sig inne i växten. Efter att svampen infekterat växten är det därför omöjligt att rädda plantan (Pettersson och Åkesson 1998).

Kisel har visat sig ha viss effekt mot svampangrepp. I Sverige har basaltmjöl i form av Baralith (Bara Mineraler AB, Bara) visats ha effekt mot svampsjukdomar på containerodlade fruktträd och på bär- och prydnadsbuskar odlade i torvsubstrat. Försöket utfördes av hortokonsult Lars Rudin, på tre konventionellt odlade planskolor i södra Sverige. Tio kg basaltmjöl/m<sup>3</sup> tillfördes fruktträdsspön och ungpantor av bär- och prydnadsbuskar. Försöket utvärderades av Lars Rudin hösten 2004 och visade att de plantor som tillförts basaltmjöl var friskare än referensledet. Det kiseltillförda ledet saknade helt, eller hade ytterst få, angrepp av svampsjukdomar. Detta led hade även fler och längre skott, samt visuellt grönare bladverk. Undantaget var *Malus sieboldii* där båda leden var lika friska. Försöket visade även att de fruktträd där basaltmjölet placerats ovanpå substratet istället för att blandas in i det samma avvek. Baralith gav inte samma skyddande effekt på de plantor där preparatet inte blandats in i substratet. Rapporten ger ingen förklaring till varför appliceringsmetoden gav så olika resultat (Johansson Kron, muntligt meddelande 2005).

Ett likadant försök, med samma mängder basaltmjöl, utfördes i fyra perennplantskolor i Syd- och Mellansverige (även detta försök av Lars Rudin). Detta uppvisade ett mycket varierande resultat. I *Delphinium* (riddarsporre), *Gentiana* och *Aquilegia* (akleja) uppgav odlarna positiva verkningar av preparatet. *Malva*, *Doronicum* (gemsrot) och *Lupin* uppvisade däremot inte några större skillnader gentemot referensledet. Lars Rudin kommenterade i sin rapport att det spretiga resultatet kunde bero på många saker, bland annat att näringstillförsel och lokalklimat varierade i de olika plantskolorna samt att försöket innefattade sortvariationer inom samma art (Johansson Kron, muntligt meddelande 2005).

#### Mjöldagg

Redan i början av 1930-talet uppmärksammades att grödor som gödslats med kaliumsilikat hade färre angrepp av mjöldagg än andra. Hypotesen var att kisel var den ensamma orsaken till växternas stärkta motståndskraft mot svampangreppet. Försök av Lowig (1936) vid Bonns universitet uppvisade mjöldaggshämmande effekter, främst hos gräsväxter (både stråsäd och fodergräs), men också hos blodklöver fanns tendenser till effekt. Kiselsyra fastställdes som den skyddande substansen. Detta förklarades med att kisel inlagrades och därmed förtjockade yttermembranet i epidermis, vilket skulle hindra svamphyferna att tränga in i växten. Effekt mot mjöldagg uppnåddes först vid 1.0-2.0% Si i torrsubstansen (Lowig 1936). Experiment gjorda av Leusch och Buchenauer (1984) bekräftade dessa undersökningar av kisel som svamphämmande medel. De menade att 3 % SiO<sub>2</sub> i början av angreppet kunde skydda vete fullständigt mot angrepp av *Erysiphe graminis*, samt att angrepp av *Septoria nodorum* kunde förebyggas genom tillsats av höga halter natriumsilikat. I sitt försök testade de flera olika preparat och menade att

brukskalk gav bra effekt mot mjöldagg medan ”konverterkalk” (svenskt namn saknas) inte uppvisade någon effekt (Leusch och Buchenauer 1984).

Även från japanska försök gjorda av Miyake och Takahashi (1983) på växthusgurka odlad i näringslösning rapporterades verkan mot mjöldagg. Enligt dem kunde 100 ppm  $\text{SiO}_2$  i form av kiselsyra nästan fullständigt förebygga mjöldaggsangrepp. Även lägre koncentrationer (50 ppm) hade effekt, men inte förrän vid 100 ppm uppnåddes en frånvaro av mjöldagg. Lägre sittande blad drabbades hårdare av svampangreppet än högre sittande. Angreppen blev allvarligare efter blomningen, oavsett tidpunkt för tillförsel. Samma experiment visade att gurkplantor snabbt drabbades av mjöldagg då kisel tillförseln upphörde, samt att tillförsel till redan angripna plantor medförde snabb utveckling av nya, icke angripna blad (Miyake och Takahashi 1983).

I ytterligare en senare undersökning, från 1986, odlades gurka i cirkulerande näringslösning där kisel tillfördes i form av kaliumsilikatlösning. Kisel tillförsel visade här tydligt ökad resistens mot mjöldagg. Hos plantor med låg kisel tillförsel angreps 40 %, 35 % respektive 30 % på första, andra och tredje bladet, gentemot omkring 3 % hos dem med hög tillförsel av kisel (Adatia och Besford 1986). Också i rosor har kisel visat sig ha effekt mot mjöldaggsangrepp. Skillnaderna var störst i början av angreppen, varpå det skedde en utjämning. Under hela försöket var det stora skillnader mellan leden (Balvoll 1991).

Också på mjöldagg orsakad av svampen *Sphaeroteca fuliginea* har kisel effekt. Försök med gurkplantor där 0.05- 4.10 mM natriumsilikat tillfördes med näringslösningen, före inokulation av konidier. Angreppet mättes genom antalet kolonier/blad, koloniserad totalyta/blad, svampens konidiegroning samt ytan på enskilda kolonier. Experimentet visade att antalet kolonier/blad, koloniserad totalyta/blad och svampens konidiegroning minskade i takt med ökad kisel tillförsel. I en av upprepningarna av försöket minskade även ytan på enskilda kolonier. Vid koncentrationer högre än 1.8 mM (50.6 ppm) ökade effekten bara marginellt (Menzies et al. 1991). Menzies et al. (1991) menade att plantornas mottaglighet för infektion av *Sphaeroteca fuliginea* uppenbart berodde på bladens ackumulation av kisel. De kunde genom parallellförsök även utesluta att natrium var den aktiva beståndsdel i preparatet. Resultaten stöds av Adatia och Besford (1986). Hos det kiselbehandlade ledet (<100 ppm) återfanns i deras försök i stort sett inga mjöldaggsangrepp, medan det icke behandlade ledet angreps av svampen, trots användning av konventionella svampmedel.

Två av de troliga förklaringarna till kisels verkan gentemot mjöldaggsvampar är (1) kisel tas upp av växten och bildar tillsammans med exempelvis pektin, hemicellulosa, lignin och fenoler ett komplex i cellväggen som kan hindra svamphyfer från att tränga genom bladytan och (2) kisel kan vid inträngning störa myceltillväxten under kutikulan. Kiselsyra ansamlas runt infektionsplatsen då en svamp angriper bladet, och kan därmed hindra hyfernas utbredning (Hanson 1992). En teori till hur kisel i detalj motverkar svampangrepp presenterades 2003 av kanadensiska forskare. De hade undersökt mjöldagg orsakad av svampen *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* och dess effekt på vete. I det led som tillförts kisel reagerade epidermiscellerna med speciella försvarsmekanismer såsom bland annat bildande av små utväxter och kallusproduktion (Bélanger et al. 2003). En förklaring som givits vid användning av natriumsilikat är att natriumsilikatlösningens höga pH inhiberar myceltillväxten och tillväxten av groddslang. Detta skydd är dock inte långvarigt eftersom natriumsilikaterna neutraliseras och sköljs bort, samt att kiselsyran tas upp av bladen (Hanson 1992).

### **Pythium och andra förökningssvampar**

I växthusodlingen anses sjukdomar orsakade av förökningssvampen *Pythium* ssp. vara ett allvarligt problem, inte minst då den tillhör zoosporbildande svampar och lätt sprids med underbevattning och i cirkulerande system (Pettersson och Åkesson 1998).

Hos gurka orsakar *Pythium* bland annat rotröta genom intensiv kolonisering av växtvävnaden. I realiteten finns det mycket få tillgängliga metoder för att skydda växten mot angrepp av *Pythium*, men det finns undersökningar som pekar på att tillsats av kisel till näringslösningen skulle ha en fördelaktig inverkan. Chérif et al. (1992a) undersökte groddplantor av växthusgurka infekterad med *Pythium ultimum*. De fann att tillsats av 1-7 mM (28.09- 196.6 ppm) till näringslösningen hade positiv effekt på rot- och hypokotylvävnad (vävnaden mellan rötterna och hjärtbladen hos en groddplanta). Förloppet hos de bägge leden var det samma under de första 48 timmarna med snabb kolonisering av epidermis och cortex. Efter detta syntes en tydlig skillnad. I de kiselbehandlade plantorna fanns en markant ökning av ackumulation av ett elektrontätt, fenolliknande material i den infekterade vävnaden, och även ett ökat antal celler fyllda med detta material. Svamphyfer som angrep dessa celler skadades allvarligt och reducerades inte sällan till tomma hyfskal. De kiselbehandlade gurkanter svarade dessutom med att bilda elektrontäta lager av amorft material utmed både primära och sekundära cellväggar, likväl som över xylemkärlens membran. Dessa lager förekom inte i de icke-behandlade plantorna. Materialet tros innehålla polyfenoler med en (för svamp) toxisk sammansättning, vars suberinliknande struktur gjorde det omöjligt för patogenen att penetrera (Chérif et al. 1992a).

Sjuttiotvå timmar efter inokulation var svamptillväxten i det kiselbehandlade ledet märkbart begränsad till de yttre vävnaderna och förekom sällan i de vaskulära vävnaderna. Det ickebehandlade ledet uppvisade efter samma tid allvarlig rotröta och vissnesymptom. I stort sett alla plantor i försöket reagerade med att försegla (occlude) sina celler. Reaktionen skedde dock betydligt snabbare i de kiselbehandlade plantorna (efter omkring 24 timmar) än i dem som inte behandlats med kisel (efter omkring 72 timmar). Antalet påverkade celler ökade med tiden och var signifikant högre med kisel tillförsel. Efter 72 timmar var omkring 22 % av de kiselbehandlade växternas celler förslutna, medan <2 % i cellerna i det ickebehandlade ledet var det (Chérif et al 1992a).

Även Chérif och Belanger (1992) har genomfört experiment på växthusgurka för att se vilken effekt kisel hade på *Pythium ultimum*. Kaliumsilikat (100 och 200ppm) tillsattes till två sorter av gurka, Corona och Marillo, odlade i recirkulerande näringslösning. Vissnesymptom började synas två veckor efter inokulation av *P. ultimum*. Det kiselbehandlade ledet visade signifikant minskad dödligheten, rotröta och skördeförluster orsakade av *Pythium*. Hos behandlade plantor ökade även rot- torrvikten och antalet frukter. Mängden klass 1-frukter ökade i det kiselbehandlade ledet med närmare 40 %. Kisel ensamt ökade dock inte skörden, vilket indikerade att ämnet snarare verkar sjukdomsreducerande än som näring. Bägge sorterna svarade likartat på behandlingen, och ingen större skillnad syntes heller mellan de olika kiselhalterna (Chérif och Belanger 1992).

Hypotesen har varit att kisel enbart bildar en mekanisk barriär i växten genom att ackumuleras vid svampens angreppsplatser i bladvävnaden. Denna kiselackumulation har dock inte kunnat återfinnas i rot- och hypokotylvävnad hos gurkanter. Det faktum att svamphyforna kunnat penetrera rötterna tyder på att kisel inte enbart skyddar via en mekanisk barriär. Trots att rötter och hypokotylvävnad saknade kiselackumulation var det kiselbehandlade ledet mer motståndskraftigt mot angrepp av *Pythium*. Detta indikerar att kisel hade en annan skyddande effekt än enbart mekanisk. Mekanismerna som inverkar på svamputvecklingen och/eller ökade plantans motståndskraft är ännu oklar, en hypotes är att kisel tillsatsen hjälpte plantan att reagera snabbare på patogenangreppet (Chérif et al. 1992a).

Denna teori bekräftades av samma forskare i en annan undersökning från samma år (Chérif et al. 1992b). I deras försök tillfördes gurka odlad i näringslösning 1-7 mM (28.1- 196.6 ppm) kaliumsilikat. Efter detta inokulerades rötter, hypokotylvävnad och blad med *Pythium ultimum*,

alternativt skadades med en vass nål. Efter 24 timmar hade del flesta hyfer penetrerat vävnaderna, både i det led som behandlats med kaliumsilikat och i det obehandlade referensledet. Efter tre dagar var alla plantor i referensledet antingen kraftigt angripna av rotröta eller uppvisade allvarliga vissnesymptom. Många var redan döda. De kiselbehandlade plantorna saknade efter dessa tre dagar nästan fullkomligt symptom på svampangreppet. Vid undersökning av vävnaderna i elektronmikroskop återfanns inget kisel alls i de icke behandlade plantorna. I de behandlade plantorna återfanns enbart slumpmässig förekomst av kisel, och oavsett växtorgan fanns mycket lite kisel vid svampens penetrationsställen eller i svampens hyfer. Däremot syntes en intensiv ansamling av kisel i celler i skadade blad, hypokotyl och i celler kring växtbehåring. Detta skyddade enligt författarna vävnaderna på annan väg än mekanisk. Hur är dock inte känt (Chérif et al. 1992b).

### **Piricularia**

Hos ris var kiselhalten i bladen direkt kopplad till plantans mottaglighet för svampen *Piricularia oryzae*. Ju högre kiselhalt i bladen, desto bättre var motståndskraften mot svampangreppet. Risbladen var som allra mest känsliga då de var nya. I takt med att bladen åldrades minskade mottagligheten, även oavsett kiselhalt (Volk et al. 1958). Hypotesen är att kisel bildade ett komplex med en eller flera komponenter i cellväggen. Detta komplex skulle vara relativt motståndskraftigt mot svampens enzymer, något som både minskar vattenförlusten och försvårar för svamphyferna att ta sig in i bladet (Volk et al. 1958, Mengel och Kirkby 1982). Både bladens kiselhalt och graden av mottaglighet var beroende av mängden tillgängligt kisel för rötterna. Plantan kunde ta upp mycket höga halter kisel och ackumulationen tycktes fortgå så länge roten hade tillgång till upptagbart kisel. Inget tydde dock på att kiseltilförseln påverkade vare sig tillväxthastigheten eller den slutliga storleken på risbladen. I försök gav kiseltilförsel före sådd förtjockade ytterväggar på epidermiscellerna och högre motståndskraft mot svampen *Piricularia oryzae*, inte minst vid hög kvävegödsling (Volk et al. 1958).

De flesta undersökning kring kisel som växtskyddsmedel för ris gäller låglandsris. International Institute of Tropical Agriculture i Nigeria har dock även undersökt höglandsris. Jorden i deras försöksområde var starkt vittrad, urlakad och sur jord (pH 4.3), och nederbörden var mycket hög (2500 mm/år) (Yamauchi och Winslow 1987). Yamauchi och Winslow (1987) tillförde i försök 400 kg natriumsilikat/ha före sådd. Detta reducerade signifikant missfärgning av sädeskornen (grain discoloration) och ”neck blast” (den senare orsakad av svampen *Piricularia*).

### **Angrepp av insekter och gnagare**

Också angrepp av djur, främst insekter och kvalster, är ett problem i odlingen (Pettersson och Åkesson 1998). Varje år beräknades i början av 1980-talet omkring 5 % av världens mat konsumeras eller förstörs av insekter. För lagrad säd var siffran ännu högre, runt 20 % (Ross 1981).

Mot vissa insektsangrepp har behandling med kisel givit effekt. Försök med ristrips (*Stenchaetothrips biformis*) visade en signifikant skillnad mellan det kiselbehandlade - och det icke-kiselbehandlade ledet. Parallella försök gjordes med tre olika typer av kiselpreparat tillförda till odlingssubstratet; natriummetasilikat (48.5 % SiO<sub>2</sub>), masugnsslugg (20.2 % SiO<sub>2</sub>) samt risagnar (14.5 % SiO<sub>2</sub>). I markvätskan fanns ursprungligen 55.4 ppm växttillgängligt kisel. Alla preparaten reducerade populationerna av ristrips, och även på risgallmygga (*Orseolia oryzae*) uppmättes positiv effekt av medlet. Risagnar var i detta sammanhang mer effektivt än de bägge andra medlen (Subramanian och Gopalaswamy 1988). Både risagnar och rishalm har generellt ett mycket högt kiselinnehåll. Kiseln frigörs dock mycket sakta från både agnar och halm, varför de främst bör ses som ett långtidsverkande medel (Marschner 1995).

Vid lagring av vete är ängerlarver (*Trogoderma granarium*) ett stort problem. Kisel i form av kiselosfat har givit goda resultat (0-2.5 % angrepp på behandlad vete, gentemot 25% på obehandlad). Undersökningen omfattade flera olika koncentrationer av preparaten (0.3-1.5%), och den skyddande effekten var för alla preparat positivt korrelerad till koncentrationen. Bäst resultat gav 1.5%-ig trikopp- kiselosfat uppvisat, men även andra kiselosfater gav ett relativt gott skydd. Preparaten uppvisade någon gröningshämmande effekt, tester gjordes upp till sex månader efter tillförsel. Tvärtom har de till viss del en gynnsam effekt på grönning och tillväxt, troligen beroende på den extra näringstillförseln (Bhavnagary et al. 1988).

Även på däggdjur har växter med ett högt kiselinnehåll avskräckande effekt. Försök har gjorts på olika sorters gräs med olika kemiskt innehåll och dess motståndskraft mot prärieåkersork. Dessa visade att åkersorkarna vid stor skillnad i kiselinnehåll konsekvent valde det gräs som innehöll minst kisel. Vid låga halter av kisel tycktes även kväveinnehållet i gräset spela en roll, däremot var gräsarten helt likgiltig för sorkens val. Däggdjur tros undvika växter med högt kiselinnehåll då deras tänder, (liksom insektslarvernas mandibler) slits ner av kisel. Bara de djur där tänderna (1) ständigt växer (bland annat gnagare), eller (2) med jämna mellanrum byts ut (en del kängurur) anses kunna äta kiselhaltiga växter utan att ta skada (Gali-Muhtasib et al. 1992).

### **Skadeverkningar på människor**

Redan 1982 skrev Mengel och Kirkby om eventuella skadeverkningar av kiselhaltigt växtmaterial på människor. Detta främst i form av kiselagrande växthår och förlängda, kiselhaltiga fibrer, vilka skulle ha cancerframkallande effekter (bland annat cancer i matstrupen) på människor. Som exempel nämndes *Setaria italica* (hirs) och arter av gräset *Phalaris* (Mengel och Kirkby 1982, Marschner 1995).

Kosthållning med högt fiberinnehåll sägs kunna vara en stor källa till kiselupptag. Parry (1984) menade att det fanns en tydlig länk mellan kisel och cancer i matstrupen. Tre stora områden; tre provinser i norra Kina samt nordöstra Iran och södra Transkeiregionen i södra Afrika hade alla ett mycket högt antal insjuknade i denna cancerform. Gemensamt för nämnda områden var även att befolkningens basmat var baserad på säd, främst vete, hirs (*Setaria italica*) och majs (*Zea mays*), men även andra växter, bland annat från familjerna *Amaranthus* (amarantväxter), *Chenopodium* (mållväxter) och *Solanum* (potatisväxter). Dessa växter innehöll alla stora mängder för människor skadliga, kiselhaltiga växthår (Parry et al. 1984).

Även diatomit tros kunna ha skadliga verkningar på människor vid långvarig exponering. Främst är det lungorna som skadas, vid inandning av ämnet (Ross 1981). Kiselfibrer tros kunna orsaka lung- och hudcancer (Shimizu 2001). Hypotesen är att människans bukvägg är genomträngliga för kiselpartiklar, som även kan passera genom lymf- och cirkulationssystem och därmed nå andra vävnader, exempelvis njurarna. Förhållandevis höga halter av kisel i urinen har uppmätts i mänsklig urin (Parry et al. 1984). I Sverige finns dock inga uppgifter om skadeverkningar på människor till följd av konsumtion av kiselhaltiga växter (Gustafsson, muntligt meddelande 2005).

## 3.2. Kiseltillförsel till stam och blad

### 3.2.1. Tillväxt

Indikationer finns på att en del växter kan ta upp kisel genom bladen. Veteplantor som sprutats med natriumsilikat har fått upp till 70 % mer kiselinnehållande bladhår, något som kan ses som ett tecken på att de tagit upp ämnet genom bladen. Egyptiska försök med småplantor av träden *Eucalyptus citriodora* (citroneukalytus) och *Macadamia ternifolia* (macadamia) visade att dessa trädslag kunde ta upp kisel form av damm via bladen (Wallace et al. 1979).

### 3.2.2. Växtpatologiska effekter

#### Svampangrepp

Kisel tycks ha en hämmande effekt på svampangrepp även om preparatet applicerats direkt på plantan istället för att tas upp av rotsystemet. För att uppnå effekt krävs dock generellt sett högre koncentrationerna än vid tillsats till jorden.

Inverkan av kaliumsilikat mot mjöldagg på gurka (*Cucumis sativus*), melon (*Cucumis melo*) och zucchini (*Cucurbita pepo*) har undersökts. Tillförsel av 1.7 mM (47.8 ppm) kisel till näringslösningen, samt duschning av bladen med 1.7, 8.5, 17 och 34 mM (47.8, 238.7, 477.5 och 955.1 ppm) kisel testades. Som kontroll användes obehandlade plantor samt plantor som duschades med enbart destillerat vatten. Bladen inokulerades med mjöldaggssvampen *Sphaerotheca fuliginea* på gurka och melon och mjöldaggssvampen *Erysiphe cichoracearum* på zucchini, en dag efter att de duschats med kaliumsilikat respektive vatten. Resultatet var att blad på de växter som fått kisel via näringslösning samt de som duschats med minst 17 mM (477.5 ppm) Si, utvecklade färre mjöldaggskolonier än kontrollplantornas blad. Denna effekt höll i sig i sju dagar efter applikation. Ett parallellt försök med duschning med enbart kalium indikerade att den aktiva substansen i förloppet var kisel (Menzies et al. 1992).

Motsvarande försök med tillsats av kisel till rötter och i duschform har gjorts på vin (*Vitis vinifera*), för att undersöka angrepp av mjöldaggssvampen *Uncinula necator*. Tillförsel av 1.7 mM (47.8 ppm) Si i form av näringslösning till krukodlade plantor hade ingen effekt. Duschning av bladen med 17 mM (477.5 ppm) Si gav däremot betydligt färre utvecklade mjöldaggskolonier. Undersökningar med elektronmikroskop visade att svamphyferna inte utvecklades i områden på kiselduschade blad, där det fanns kraftiga kiseldepositioner på bladytan. Där sådana depositioner saknades flyttades kisel lateralt genom bladet och omringade appressoria (små ansvällningar av hyfer). I obehandlade blad, och i de blad som duschats med vatten, var den inre kiseldepositionen mindre och mer ojämn än i de blad som på något sätt tillförts kisel. Försök gjordes även på svampens konidiegroning och utveckling av groddslang på agar. Dessa främjades svagt av kisel, vilket tydde på att ämnet i sig inte motverkar svampen utan snarare ger ett mekaniskt skydd.

Hypoteserna till minskningen av mjöldaggsangrepp är: (1) en fysisk barriär som motverkar inträngning av hyfer och (2) det motstånd som uppnås med hjälp av en lateral förflyttning av kisel samt dess deposition i bladet på de platser där svampinfektion sker (Bowen et al. 1992).

#### Insektsangrepp

Som direkt bekämpningsmedel har kisel ingen eller mycket liten effekt mot insektsangrepp. Däremot kan det ha en viss effekt på skadedjur som får i sig ämnet, troligen eftersom kiselkristallerna skadar djurens magar. Kisel fungerar som äthämmare för nattflylarver, och kan

även ge en ökad mortalitet på mjöllöss. Foder med 10 % kiselinnehåll gav sämre smältbarhet av växtdelar hos nattflyn (Hanson 1992).

I USA har försök gjorts med diatomit. Dessa försök pekar på mycket positiva effekter mot spannmålsminerare, risvivel och mjölbagge i lagrad säd. Troligen döddes insekterna genom att mikroskopiska kisel nålar genomborrade kutikulan, varpå kroppsvätskan avdunstade och insekterna torkade ut. Bäst effekt uppnåddes när kiselpartiklarna krossades till mycket vassa fragment. I försök av The Agricultural Research Service (amerikanska jordbruksdepartementets försöksavdelning) uppvisade diatomit betydligt bättre verkan mot skadeinsekter i lagrad säd än vad som uppnåddes med malathion (en i sammanhanget ofta använd pesticid). Efter en månads lagring återfanns inga eller ytterst få insekter vid diatomitbehandling. Efter ett års lagring återfanns 150 djur i det diatomitbehandlade ledet, gentemot 4884 djur i det malathionbehandlade. Inga skadliga verkningar av diatomiten återfanns på den lagrade säden. Då diatomit har en helt mekanisk verkan på insekterna är det inte troligt att de skulle kunna bli resistenta mot ämnet (Ross 1981). Ross (1981) menade även att diatomit under rätt klimatförhållanden och med rätt applikationsteknik skulle kunna ha effekter även i fält. Detta har dock inte testats i någon större utsträckning.

### **Bladlöss**

Både i växthus och på friland har försök gjorts med tillförsel av natriumsilikat till veteplantor. Preparatet sprutades på de växande plantorna i olika koncentrationer (0.05, 1, 2 och 4 % i växthus, samt 1, 2 och 4 % i fält). Verkningsgraden var förhållandevis lika oavsett koncentration. Gemensamt för alla de behandlade leden var även att de hade en avskräckande och populationshämmande verkan på bladlössen. Effekten uppmättes till 60 % på arten *Sitobion avenae* och 30 % på *Metopolophium dirhodum*. Störst effekt hade natriumsilikatbehandlingen på de plantor som gödslats kraftigt med kväve. Plantor som tillförts för mycket kväve växer ofta ”för snabbt” varpå vävnaden blir lös och lätt för patogener att tränga in i, något som kisel tillförsel kunde uppväga. I de kiselbehandlade leden ökade de kiselinnehållande håren i epidermis med 70 %, vilket indikerade upptag och förflyttning av kisel i plantan. Inga negativa effekter av preparatet kunde uppmätas på skörden (Hanisch 1981). Då bladlöss tillhör de växtskadegörare som snabbt kan bli resistenta mot bekämpningsmedel ansåg Hanisch (1981) att kisel kunde ha en viktig funktion att fylla då lössen inte kan bli resistenta mot det, samtidigt som ämnet inte är skadligt för miljön.

Även tester för att undersöka kiselinnehållet i vete som resistens mot hessisk fluga (*Mayitola destructor*), en gallfluga som gör stor skada på vete i delar av Europa och Nordamerika, har genomförts. Kiselhalten i elva olika sorters vete, både resistenta och mottagliga, analyserades. Man fann inget tydligt belägg för att kiselhalten skulle minska angreppet. Däremot påvisades att närvaro av kisel i cellväggarna i bladens epidermis gjorde växten mindre attraktiv och försämrade tillväxt och förökning hos bladbaggen, *Oulema melanopus* (Hanson 1992).

### **Flugor och fjärilar**

I italienskt rajgräs (*Lolium multiflorum*) har kisel visat sig kunna minska angrepp av fritfluga (*Oscinella frit*) och närbesläktade arters larver. Larverna utgör ett stort problem då de äter sig in i gräset och förstör det apikala meristemet varpå skottet dör. En del larver (speciellt ur den övervintrande generationen under höst och vinter) äter av ett skott och migrerar därefter till ett annat, levande skott. Italienskt rajgräs är mer mottagligt för angrepp av fritflugan än perenn rajgräs, men skillnader finns även mellan sorter. Till viss del kan mottagligheten härledas till hur lätt det är för larven att ta sig in i skottet, varför gräsets mekaniska egenskaper är viktiga. Kisel har visat sig ge en mycket positiv effekt. Vid tillsats av 7.5 mM (210.7 ppm) kisel minskade antalet larver med omkring hälften gentemot obehandlat led. Vid högre tillsatta koncentrationer



ökade kiselhalten i gräset proportionellt, men antalet larver förändrades inte. Hypotesen är att kisel (1) försvårar för larven att penetrera gräset och (2) minskar smältbarheten (Moore 1984).

Även mellan gräset *Phragmites australis* och gallmyggan *Girallidiella inclusa* finns ett samband, då äggläggande honor och det första larvstadiet söker sig till internoder i skottet som har högt näringsinnehåll och låg kiselhalt. Hög kiselhalt i gräset medför att vävnaderna blir hårdare och mer svår genomträngliga (Tscharntke 1988).

En av de skadeinsekter som gör störst skada på majs i USA är majsmott, *Ostrinia nubilalis*. Tester på 15 genotyper av majs, med olika motståndskraft mot insekten, har testats i Wisconsin, USA. Dessa undersökningar visade att motståndskraft mot angrepp till viss del kunde relateras till kiselhalten. Kisel förmodades bilda ett komplex med strukturella kolhydrater och lignin, och därigenom mekaniskt kunna motverka penetration. Kisel hade dock ingen effekt utan de andra komponenterna (Coors 1987).

I risodling är fjärilslarver som borrar sig in i risstrået ett vanligt problem. Högt kiselinnehåll i växten tycktes försvåra för larverna att ta sig in i strået och äta av det (Hanson 1992). Hypotesen var att larvernas mandibler slits ut av det höga kiselinnehållet och att larvernas äteffektivitet därmed försämras (Gali-Muhtasib et al. 1992). Ett stort antal kiselceller i epidermis antogs dessutom kunna hindra larverna från att borra sig in i strået, och kisel i andra vävnader (sklerenkym, kärlsträngar och parenkym) tros påverka ätandet när larverna väl tagit sig in i mörgen (Hanson 1992).

### **Virusangrepp**

Kisel har undersökts som virushämmande medel, dock med betydligt sämre resultat än mot svamp- och insektsangrepp. Mot Urdbean Leaf Circle Virus (UCVL) gav det testade kiselpreparatet ingen effekt, och mot Belladonna Mottle Virus (BdMV) ökade kisel tillförsel kraftigt viruset (Hanson 1992).

### 3.3. Kisel i tillgängliga produkter

#### 3.3.1. Lerbaserade produkter

##### **Bara lergranulat**

Preparatet tillverkas av Bara Mineraler, beläget i den skånska orten Bara och har namn efter företaget. Bara lergranulat innehåller bland annat 65 % kisel, 16 % aluminium, 7 % järn, 3.8 % kalium och 1.8 % magnesium, och består till 20 % av kvarts. Lerinnehållet i produkten är omkring 50 %. Enligt Bara Mineraler AB bidrar detta till en effektivare vattenupptagning, bättre vattenhållande förmåga, jämnare näringsinnehåll, bättre kiselupptag samt minimerar risken för urlakning och rotbränning vid höga näringskoncentrationer. Bara lergranulat blandas före användning med torv, 50-100 kg lergranulat/m<sup>3</sup> torv beroende på kultur. Preparatet är fritt från skadliga nematoder och ogräs, samt uppges ge större motståndskraft mot svampar och skadedjur (Johansson Kron, muntligt meddelande 2005).

##### **Bentonit**

Bentonit är ett naturligt förekommande lermineral, vars huvudbeståndsdel är montmorillonit. Mineralen används främst industriellt, men även i odling. Användningsområdena för bentonit varierar med katjonsammansättning, plasticitet, färg med mera, och beror på var leran kommer från (Schönfeld, muntligt meddelande 2005). Bentonit har använts en del i södra Europa som jordinblandning, främst för att påverka vattenhalten i substrat. Kiselinnehållet är omkring 30% och lösligheten i vatten är låg (Bohlin, muntligt meddelande 2005).

##### **OB Lergranulat**

OB Lergranulat är ett montmorillonitmineral med en viss kalkinblandning. Produkten tillverkas av det danska företaget Tierra A/S, och anses relativt jämförbar med svenska Bara Mineralers lera. OB Lergranulat innehåller ca 27 % Si (Bohlin, muntligt meddelande 2005).

##### **Scania Vital® Silica Pasta**

ScaniaVital® tillverkas och saluförs av Bara Mineraler AB. ScaniaVital® Silica Pasta är en växtvårdande pasta, speciellt utvecklat för tomatplantor, som naturligt stärker växtcellerna vid skador på stammen. Preparatet används vid skada på stammen, exempelvis vid avbladning, och ska för bästa resultat påföras omedelbart efter skadetillfället. ScaniaVital® Silica Pasta penslas tunt över det skadade området, samt några centimeter runt om (se figur 7). Preparatet innehåller mycket kisel och kalcium men även kalium och jod (Johansson Kron, muntligt meddelande 2005).



Figur 7. Tomatplanta behandlad med ScaniaVital® Silica Pasta (från [www.baramineraler.se](http://www.baramineraler.se) 050721, med tillstånd av Johansson Kron, muntligt meddelande 2005).

### **Vermikulit**

Vermikulit är ett vattenhaltigt lermineral. Obehandlad vermikulit liknar till utseendet glimmer och består i obearbetat skick av tunna flata skivor. Vid uppvärmning expanderar kristallvattnet vermikuliten som får en bälgliknande struktur med en konsistens som liknar kork, med en mycket stor yta och låg volymvikt. Vermikulit är obrännbar, steril, kemiskt inert och luktlös. Preparatet består av 39 %  $\text{SiO}_2$  och 23%  $\text{MgO}$  och har ett pH på 7-10 (Johansson Kron, muntligt meddelande 2005). Beroende på vermikulits goda isolerande egenskaper är det inte möjligt att ånga det (i steriliserande syfte mellan kulturerna) med ett tillfredsställande resultat (Johansson Kron, muntligt meddelande 2005).

### **3.3.2. Stenbaserade- och vulkaniska preparat**

#### **Baralith**

Baralith är en naturlig vittringsprodukt från grönsten, där basalt av diabas och hyperit ingår, och som säljs i form av pudermjöl. Baralith innehåller 43 % kiseldioxid, 16 % magnesiumoxid, 12% järnoxid, 10 % kalciumoxid, 10 % lermineral samt spårämnen, och sägs även vara kvävefixerande med hjälp av mikroorganismer. Det används enligt företaget med fördel som tillsats i torvbaserade jordblandningar, 6-10 kg Baralith/ $\text{m}^3$  substrat. Baralith ska vid höga doseringar tillgodose plantans behov av magnesium, och kan till viss del ersätta dolomitkalk då preparatet har en svag kalkverkan. Preparatet uppges även minska mottagligheten för svamp- och insektsangrepp (Johansson Kron, muntligt meddelande 2005).

#### **Pimpsten och perlit**

Pimpsten uppkommer i samband med vulkanutbrott och kan bildas av flera olika bergarter. Håligheterna i pimpstenen uppkommer när magman slungas ut med hög hastighet, varpå vattnet som förångas inne i magman fyller denna med hål. Färgen på pimpsten kan variera från grå till svart (Johansson Kron, muntligt meddelande 2005), beroende på vilken bergart som finns under vulkanen. Färgen är beroende av kiselinnehållet i stenen, ju högre kiselhalt desto ljusare färg (Modéer och Svensson 2004). Pimpsten har en mycket hög andel porer, materialet suger lätt vatten till sig och transporterar det snabbt över större avstånd tack vare kapillärkraften. Pimpsten bör desinficeras mellan kulturerna, säkrast med ångning (Johansson Kron, muntligt meddelande 2005). Kiselinnehållet i pimpsten är drygt 66 %, och stenen har i försök visat sig kunna avge stora mängder kisel till näringslösningen (Modéer och Svensson 2004).

Perlit är ett lätt material som varierar i partikelstorlek mellan 0.15 och 6.0 mm. Det är sterilt och framställs av ett vulkaniskt mineralämne som krossas och siktas. Vattnet i partiklarna förångas/expanderar och skapar luftbubblor som innesluts i det mjuka glasartade partikelskalet. Det är dessa små glastäckta luftbubblor som ger perlit dess låga densitet. Perlit är ett aluminiumsilikat och består av 73 % kiseloxid. Perlit bör desinfekteras mellan kulturerna, säkrast genom ångning (Johansson Kron, muntligt meddelande 2005).

#### **Stenmjöl, Adularia**

Stenmjöl har mycket låg löslighet i vatten. Kiselinnehållet är 15-30 % (Bohlin, muntligt meddelande 2005).

### **3.3.3. Växtbaserade preparat**

#### **Terramol**

Terramol kommer från Damolin, **Dansk Moler Industri**. Damolin producerar pulver- och granulatprodukter baserat på mineraliska och organiska råvaror som delvis utvinns i egen regi i danska Limfjorden, bland annat jordförbättringsmedlet Terramol. Grunden i preparatet är moler, vilket består av 2/3 diatoméer (encelliga kiselhaltiga alger) och 1/3 plastisk lera. Kiselinnehållet i det torkade preparatet är 75 %, pH är 5.5 (Schønfeld, muntligt meddelande 2005).

### **3.3.4 Slaggbaserade preparat**

#### **Elkem Microsilica**

Detta är en biprodukt från elektroståltillverkning. Ämnet är pulverformigt och har något högre vattenlöslighet än lermineral. Används vanligen som bindemedel i bland annat specialbetong, men Hasselfors garden använder det även för tillsats av kisel till växter. Påverkar inte pH mycket. Kiselinnehållet är 40 %, men kan processas till att innehålla >90 % SiO<sub>2</sub>, lösligheten i vatten är relativt låg (Bohlin, muntligt meddelande 2005).

#### **M-kalk**

M-kalk är en typ av slagg, härrörande från järnindustrin. Denna har funnit en användning inom jordbrukssektorn i första hand som kalkningsmedel, men där dess innehåll av kisel har ansetts bidra till ökad växttillgänglighet av andra växtnäringsämnen. Omkring 16 % kiselinnehåll, relativt låg löslighet i vatten (Bohlin, muntligt meddelande 2005).

### **3.3.5. Kemiska preparat**

#### **Bindzil 15-500**

Bindzil tillverkas och marknadsförs av The Colloidal Silica Group, som är en del av Eka Chemicals, vilka i sin tur ägs av Akzo Nobel. Preparatet tillverkas i en mängd olika storlekar, från 5 – 100 nm, och produktionen kan vid stora kvantiteter anpassas efter beställarens önskemål. Kiselinnehållet är mellan 15 och 50 % beroende på partikelstorlek. Bindzil har ett mycket högt pH-värde, mellan pH 9 och 10 (Muntligt meddelande Eka Chemicals AB 2005). Produkten är vattenlös och kan vattnas ut (Bohlin, muntligt meddelande 2005).

#### **Posifeed**

Handelsnamnet för en produkt bestående av helt vattenlös, flytande, kalimetasilikat. Posifeed användes förr en del i gurkodlingar och rosodlingar i Holland, men preparatets höga pH som måste justeras med syra upplevdes som ett problem. Preparatet har relativt god löslighet i vatten, högt pH, och innehåller cirka 9 % kisel (Bohlin, muntligt meddelande 2005).

### 3.3.6. Biodynamiska preparat

#### Biodynamiska preparat

De biodynamiska preparaten presenterades i en föredragsserie av antroposofins och den biodynamiska odlingens grundare Rudolf Steiner 1924. Föredragsserien finns idag samlad och översatt till svenska, utgiven 1966 som "En lantbrukskurs". Kiselpreparatet, preparat 501, är ett av sammanlagt åtta biodynamiska preparat avsedda för odling. Preparatet tillskrivs mognadsförbättrande egenskaper, och sägs understödja växterna i utvecklandet av, var och en sin egen, karaktär (Lüthi och Löfström 1993). Enligt Dlouhý (1981) associeras kisel med ljus, och han får medhåll av Billing (2005) i en artikel om kiselpreparatet i Biodynamisk tidskrift. Billing menar att kisel har en stark relation till ljus och värme och att kisel drar in dessa kosmiska krafter i växten och understödjer där blom- och fröbildning. Hon påpekar dock att det inte handlar om någon slags tvångsmognad, utan snarare om att skapa ett slags inre mognad av näringen i växten (Billing 2005).

Preparatet består av finmalen kvarts eller bergkristall som preparerats och lagrats i ett kohorn, varför det även går under namnet kornkisel (Arman 1989). Användningen måste anses som homeopatisk, det vill säga att även ytterst små mängder sägs ha verkan. En portion (1 g preparat) uttrört i 15-20 liter vatten räcker till behandling av omkring ett tunnland i lantbruk. Till träd, buskar och en del trädgårdskulturer krävs större kvantiteter. Prepareringen anses vara av största vikt. Vattnet, helst regn- eller sjövattnet, ska vara ljummet, och ska röras kraftfullt i ett kärl av trä eller lergods under en timme. Syftet med utrörningen är att "väcka" preparatet och föra dess livskrafter från ett latent tillstånd till en aktiv form. Preparatets krafter ska överföras till vattnet. Vattnet sägs dock inte förmå hålla kvar kraften speciellt länge, utan sprutning måste ske inom några timmar, företrädesvis om förmiddagen och i torrt väder. Nysatta plantor ska inte behandlas förrän tidigast några veckor efter plantering. I övrigt beror tidpunkten på kulturen; sallat och kål behandlas när man vill inducera dem till att sluta sig, blommor, tomater, jordgubbar och fruktträd behandlas efter blomningen och rotsaker när rötterna är penntjocka eller knölarna valnötsstora. Verkan ökar inte med större koncentration av preparatet (Arman 1989).

#### K- försöket

Det så kallade K-försöket (1958- 1990) jämförde under sammanlagt 32 år olika gödslingsstrategier, och i samband med det även de åtta biodynamiska preparaten. Kiselpreparatet testades med andra ord inte ensamt i denna undersökning. Man fann bland annat att användning av preparaten gav högre enzymatisk aktivitet i jorden, speciellt i de djupare markskikten. Vidare gavs i potatis högre skörd vid 80 av de 127 skördetillfällena, markant mindre angrepp av bladmögel och ett mindre antal sidostjälkar hos potatis (antalet huvudstjälkar var oförändrat). Det led som behandlats med de biodynamiska preparaten hade även större andel mindre, stora och mycket stora knölar, medan det konventionellt odlade ledet hade större andel medelstora knölar, samt högre andel prima vara efter skörd än det biodynamiska. I vårvete var skörden (både kärn- och halmskörd) betydligt högre i det biodynamiska ledet, och uppvisade även mindre andel liggsäd, högre andel stora kärnor och kortare strån. Författarna menar att kiselpreparatet tycktes påverka skörden mer vid låga skördenivåer, en effekt som återfanns hos alla grödor, men var starkast hos vårvete och vall (Kjellenberg och Granstedt 1998).

Delvis parallellt med K-försöket pågick under 1960-talet en undersökning av olika gödslingsstrategier på matpotatis, där även preparat 500 (humuspreparatet)- och 501 (kiselpreparatet) testades under två års tid på fyra olika platser i Norden (Billund i Danmark, Järna och Bodafors i Sverige samt Mysen i Norge). Pettersson (1970), som utförde denna undersökning som sitt licentiatarbete, fann bland annat att kiselpreparatet ökade antalet huvudstjälkar hos potatis, medan antalet sidostjälkar förblev oförändrat, samt att det tycks

minska skörden av knölar. Han hävdade vidare att preparatet saknar tydlig effekt på råproteinhalt eller mörkfärgning, och kopparkloridkristallisationen (en testmetod där saft eller extrakt från en växt tillförs en mineralsaltlösning, varpå lösningen får kristallisera på en glasplatta och analyser görs av vilken typ av aggregat kopparkloridsaltet bildar) visar helt motsatta värden de olika åren. Sammantaget menar författaren att det inte är möjligt att belägga en positiv verkan av kiselpreparatet, samt att de positiva effekter som preparat 500 uppvisat närmast är av marginalkaraktär och att slumpen därför inte helt kan uteslutas (Pettersson 1970).

### **UJ - försöket**

Ur K-försöket utvecklades två parallella dotterförsök, 1971-76 i Uppsala och 1971- 79 i Järna, efter försöksorterna vanligen kallade UJ-försöken (Kjellenberg och Granstedt 1998). Dessa rapporteras bland annat i Josef Dlouhýs avhandling från 1981, där han dels jämför biodynamisk odling med konventionell och dels, i liten skala, testar de biodynamiska preparat 500 och 501. I avhandlingen påtalar han även svårigheten med att jämföra olika odlingssystem med varandra, eftersom han menade att skillnaderna mellan biodynamisk odling och konventionell odling är stora och mångfacetterade. I preparatförsöket odlades korn, vilket behandlades med (1) preparat 500, (2) preparat 501, (3) en kombination av bägge preparaten, respektive (4) obehandlat kontrollad. Dlouhýs slutsats var att försöket inte kunnat påvisa någon skillnad för behandlade och obehandlade led i detta försök. Detta, ansåg han, kan bero på att preparaten antingen saknar effekt, att försöksomfattningen var för liten och därför otillförlitlig, eller att de (såsom många biodynamiker menar) enbart fungerar i sitt sammanhang, det vill säga att preparaten bara fungerar tillsammans med andra biodynamiska odlingsåtgärder såsom övriga preparat och fleråriga vallar (Dlouhý 1981). Enligt Arman (1989) gav de biodynamiska preparaten tillsammans en högre bördighet hos marken, bättre kvalitetsegenskaper, lagringsduglighet och näringsvärde hos grödan. Däremot menade han att flera undersökningar tyder på att preparaten, använda var för sig, kan ge oförändrade eller till och med försämrade egenskaper (Arman 1989).

### **Preparat 501 mot sniglar**

I Tyskland har effekten av preparat 501 mot sniglar testats, dock i ytterst liten skala då drygt hälften av de omkring 70 ekologiska odlare som erbjöds möjlighet att prova avstod från detta. Positiv effekt mot sniglar uppnåddes hos dem som testade preparatet, men detta kan även förklaras med att sommaren då försöket gjordes var varm och torr och att sniglarna därför inte utgjorde något större problem ändå. Det biodynamiska förklaringen till effekten är att den fukt- och mörkerälskande snigeln motverkades av kiselns ljus- och värmeeffekt, men att det även kan ha berott på att växterna blivit allmänt starkare, mindre frostkänsliga och därmed mindre attraktiva för sniglarna (Billing 2005).

## 4. Diskussion

### Är undersökningarna korrekta?

En grundläggande fråga är naturligtvis huruvida all den forskning som ligger till grund för denna uppsats är relevant? Är den att lita på? Kan vi verkligen vara säkra på att det är kisel som är den verksamma substansen? Svaret är inte givet. Det finns fortfarande mycket vi inte vet om växters fysiologi, men det finns idag väldigt mycket forskning som, oberoende av varandra, pekar på kisel som en aktiv del i dessa processer. I den mån det varit möjligt har jag försökt belysa frågan från olika håll och eftersträvat att hitta flera författare som undersökt samma effekt. Detta har dock långt ifrån alltid varit möjligt, beroende på brist på material. I ett par förekommande fall har jag i texten använt källor där det inte framgår varifrån de omskrivna resultaten kommer (detta framgår i de fall det gäller). Detta är alltid ett minus då det omöjliggör både för mig och för andra intresserade att i någon större utsträckning jämföra olika resultat med varandra. Jag har dock bedömt de källor som i sin tur saknar källförteckning som trovärdiga och resultaten som intressanta, och därför trots allt valt att använda dem.

### Vilken ytterligare forskning behövs?

Mycket forskning har gjorts på kisels inverkan på högre växter, men fortfarande återstår mycket. Idag finns en mängd rapporter från undersökningar gjorda kring kisels inverkan på olika funktioner i växten, allt från förbättrad fotosyntes till ökad motståndskraft mot patogener, från de senaste hundra åren. Däremot finns det mycket få bra och uppdaterade *sammanställningar* av denna litteratur som ofta är i form av artiklar i akademiska tidsskrifter. Att sammanställa denna information vore ett enormt arbete, men oerhört värdefullt för att åskådliggöra kisels effekter, och samtidigt kanske minska en del av det hemlighetens skimmer som ämnet fortfarande bär för många.

Konkret forskningsmässigt finns det troligen mycket nytt att upptäcka, nya funktioner som inte upptäckts och verkningar av kisel hos växter som ingen ännu undersökt, och dessutom finns det många kända funktioner som inte i dagsläget går att förklara. Vi vet helt enkelt för lite om de mekanismer som leder fram till de resultat som vi kan iaktta. Trots många försök, och trots att man till stor del kunnat visa en positiv effekt av kiseltillförsel, finns det fortfarande många cellbiologiska mekanismer som ännu inte är fullt utredda. Idag finns exempelvis många publicerade försöksrapporter som tyder på att kisel har en transpirationsminskande likväl som en fotosynteshöjande funktion. Exakt hur detta går till är inte entydigt. Vi kan se att kisel har effekt mot flera typer av mjöldagg, men vi har ännu inte lyckats klarlägga exakt *hur* det går till. Samma sak gäller kisels verkan som ett skydd mot patogener. Idag menar de flesta som undersökt fenomenet att kisel deponeras i växten, troligen i epidermis, för att där fungera som ett mekaniskt skydd, en sköld, mot penetration av patogener. Det finns dock luckor i den hypotesen som idag inte går att förklara fullkomligt, exempelvis hur det kommer sig att kiseltillförsel givit ett uppenbart skydd även åt växter och/eller växtdelar där man inte lyckats finna kiselinlagring i vävnaderna.

Det är heller inte känt hur tillnärmelsevis alla växter reagerar på kiseltillförsel. Ännu är det främst nyttoväxter som undersökts (i synnerhet spannmål och andra typer av gräs, då det länge varit känt att dessa lagrar mycket kisel, men även gurka har varit föremål för många försök). Kisels inverkan på prydnadsväxter såsom perenner och sommarblommor är fortfarande inte känd i någon större utsträckning. Då kisel har visat sig ha stora effekter på en del av de kulturer som undersökts, bland annat mot svampangrepp, är det inte helt osannolikt att även en del prydnadsväxter skulle gynnas av kiseltillförsel. Detta borde undersökas mer. Inte heller lignoser har undersökts mer än i ett fåtal sammanhang, och då sällan för kisels eventuella positiva effekt på växten i sig, utan snarare på kringeffekter såsom vedens förbränning. Även här finns det en möjlighet att ny forskning skulle kunna vara till nytta.

Från olika delar av världen kommer larm som pekar på nära samband mellan cancer och konsumtion av växtdelar innehållande kiselhaltiga hår (främst vete, hirs och majs). Huruvida dessa växter är cancerogena är väl främst en fråga för medicinen, men den för växtbiologer intressanta följdfrågan blir huruvida det är möjligt att utveckla sorter som saknar dessa för människan skadliga växthår, alternativt om det är möjligt att minska eller helt eliminera växternas kiseldeposition i de mikroskopiska håren.

### **Hur kan den kunskap vi har idag användas?**

Trots att mycket återstår vet vi idag, eller antar oss veta, en hel del om kisels funktion i växter. Men vad som är lika viktigt som att känna till dessa funktioner är hur vi använder kunskapen. Är det möjligt att med hjälp av tillsats av kisel få fram bättre och hårdigare plantor? Flera effekter kopplade till kisel skulle kunna vara av mycket stor vikt i områden med mer extremt klimat än vårt, minskning av transpiration och därmed minskning av det totala vattenbehovet hos plantorna skulle exempelvis kunna vara avgörande i områden med brist på vatten. Hos oss är vatten knappast den avgörande faktorn, däremot skulle en ökad fotosyntes kunna möjliggöra längre odlingsperioder av en del kulturer som kräver mycket ljus. Också kisels inverkan på upptag av andra ämnen skulle kunna utnyttjas mer. Bland annat finns tecken på att växters tolerans mot salthaltiga jordar (något som på många ställen är ett problem i odlingssammanhang) kan öka med hjälp av kisel.

Kunskapen om växters ökade motståndskraft mot patogener, främst svamp, borde odlare dra betydligt större nytta av än vad som görs idag. Svampangrepp är, främst i växthusodlingar med recirkulerande system, ett mycket stort problem med ekonomiska konsekvenser för odlaren. Möjligen vore det mer lönsamt att i förebyggande syfte stärka växterna med hjälp av kisel tillförsel än att bekämpa svampen när den väl angripit, eller slänga hela det angripna partiet. Inte minst i den ekologiska odlingen vore det intressant att se vilken effekt användning av kisel såsom förebyggande insats mot patogener skulle ha. I dag är detta ett av de största problemen den ekologiska odlingen står inför, att förebygga och minska patogenangrepp. Då kisel är ett naturligt förekommande ämne och kiselpreparat vanligen är baserade på lera, sten eller andra naturmaterial torde ämnet vara av intresse i sådana sammanhang. Trots rigorösa regler kring kemiska bekämpningsmedel kvarstår faktum att de riskerar att anrikas i mark och växter, något som inte vore ett problem med kisel, då ämnet idag inte har några kända skadeverkningar. Många patogener, både svampar och insekter, anpassar sig dessutom snabbt till nya kemiska substanser och blir resistenta, varpå nya, starkare, medel krävs för att uppnå samma effekt. Då kisels verkan till största delen tros vara mekanisk är det inte sannolikt att patogener skulle kunna bli resistenta i någon större utsträckning.

### **Biodynamisk odling**

En intressant inriktning som borde undersökas mer är den biodynamiska odlingen. Att detta görs så sällan beror troligen till dels på att det är mycket svårt att jämföra biodynamisk odling med konventionell, inte minst då testmetoderna skiljer sig åt mellan de olika odlingssystemen. I den konventionella odlingen används ofta kvantitativa bestämningsmetoder såsom antal ton skörd, lagringsduglighet och huruvida skörden angripits av skadegörare. Den biodynamiska odlingen menar sig istället producera hög kvalitet snarare än kvantitet, och har utvecklat egna metoder för att mäta denna. I den biodynamiska forskningen används bland annat en metod kallad kopparkloridkristallisation, där växtsaft från den testade plantan tillsätts kopparkloridlösning varpå de bildade kristallernas form, antal och storlek utläses som olika kvalitetsegenskaper. Inom den konventionella och den biodynamiska odlingen föredras dessutom olika grödor och olika sorter, och medan biodynamisk odling nästan alltid använder växtföljder med fleråriga vallar är detta ovanligt i den konventionella odlingen.



En annan anledning till att den biodynamiska odlingen mycket sällan undersöks i akademiska sammanhang kan ligga i skillnaderna i den vetenskapsteoretiska ansatsen och teoribildningen mellan naturvetenskapligt och antroposofiskt synsätt. Ett sätt att undersöka frågan mer är genom att använda varandras analysmetoder samt att arbeta med multipla kontroller.

Ett av problemen är att mycket få icke biodynamiskt inriktade naturvetare intresserar sig för den biodynamiska odlingen, varför det är upp till biodynamikerna själva att belägga eller förkasta sin tes. De undersökningar som trots allt föreligger i ämnet är djupt seriöst menade och inte sällan mycket noggrant genomförda, men ger tyvärr inte mycket vid handen då de ofta spretar åt olika håll och visar helt motsatta resultat, alternativt låter sig förklaras som slump eller marginalverkningar. Trots mycket knapphändiga bevis för den biodynamiska odlingen överlägsenhet (gällande kiselpreparat som är det jag har undersökt här) återstår många frågor som förtjänar att besvaras.

## **Tack**

Mitt stora och varma tack till alla som gjort detta examensarbete möjligt genom forskning, tidigare litteratursammanställningar och svar på ett till synes oändligt antal frågor. Tack till Alnarpsbiblioteket för ert ständiga engagemang, er beredvilliga hjälp och ert goda humör, och till Biologibiblioteket i Lund för gratiskopior av artiklar.

Tack till Mats Johansson Kron på Bara Mineraler och Claes Bohlin på Hasselfors garden för vänligt bemötande och för uppgifter om egna och andras preparat, samt till Claes Regander för bergarterna och för datorsupport. Och tack till min syster Vanja Hultberg som gjorde omslagsbilden.

Slutligen även ett varmt tack till Beatrix Alsanius, min handledare, för att du visade vägen och sedan försiktigt knuffade mig åt rätt håll.

## 5. Referenser

### Publicerade källor

Adatia MH och Besford RT (1986) The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution, *Annals of botany* 58, 343-351.

Aldén B, Engstrand L, Iwarsson M, Jonsson L, Nilsson Ö och Ryman S (1998) *Kulturväxtlexikon*, Lund, Natur och Kultur/LTs förlag.

Arman K (1989) *Jord och bröd - handbok i biodynamisk odling*, Stockholm, Kosmos förlag.

Balvoll G (1991) Om kisel som växtnäring, *Hortica* 7(1), 6-8.

Bhavnagary HM, Singh K och Majumder SK (1988) Silicophosphates as new seed protectants: studies on the damage by *Trogoderma granarium* Everts and its effect on the germination of wheat seeds treated with silicophosphates, *Seed science and technology* 16 (2), s. 507-513.

Bélanger RR, Benhamou N och Menzies JG (2003) Cytological evidence of an active role of silicon in wheat resistance to powdery mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*), *Phytopathology* 93 (4), 402-412.

Billing V (2005) Kiselpreparatet - ljuset inifrån som förhöjer näringens kvalitet, *Biodynamisk tidskrift*, 2, 10-11.

Bohlin C (1991) Försök med kisel till Begonia, Viola trädgårdsvärlden nr 42, s 8.

Bowen P, Menzies J och Ehret D (1992) Soluble silicon sprays inhibit powdery mildew development on grape leaves, *Journal of the american society for horticultural science* 117 (6), 906- 912.

Chérif M och Belanger RR (1992) Use of potassium silicate amendments in recirculating nutrient solutions to suppress *Pythium ultimum* on long english cucumber, *Plant disease* 76, 1008-1011.

Chérif M, Benhamou N, Menzies JG och Bélanger RR (1992a) Silicon induced resistance in cucumber plants against *Pythium ultimum*, *Physiological and molecular plant pathology*, 41, 411-425.

Chérif M, Menzies JG, Benhamou N och Belanger R (1992b) Studies of silicon distribution in wounded and *Pythium ultimum* infected cucumber plants, *Physiological and molecular plant pathology* 41, 371-385.

Christensson H (1991a) Rosor och kisel, Fakta trädgård nr 935, Sveriges Lantbruksuniversitet.

Christensson H (1991b) Gurka - kisel ökar avkastningen 4%, Fakta trädgård, nr 892, Sveriges lantbruksuniversitet.

Christensson H (1993) Kisel till rosor ger positivt resultat, Fakta trädgård nr 1048, Sveriges Lantbruksuniversitet.

Coors JG (1987) Resistance to the European corn borer, *Ostrinia nubilalis* (Hubner), in maize, *Zea mays* L., as affected by soil silica, plant silica, structural carbohydrates, and lignin, Genetic aspects of plant mineral nutrition 16-20 juni 1985, s. 445-456

Dlouhý J (1981) Alternativa odlingsformer - växtprodukters kvalitet vid konventionell och biodynamisk odling, akademisk avhandling, Uppsala, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för växtodling, rapport 91.

Fogelfors H (red.) (2001) Växtproduktion i jordbruket, Borås, Natur och Kultur/LTs Förlag.

Gali-Muhtasib HU, Smith CC och Higgins JJ (1992) The Effect of silica in grasses on the feeding behavior of the Prairie Vole, *Microtus ochrogaster*, Ecology 73(5), 1724-1729.

Granstedt A (1993) Biodynamisk odling i forskning och försök, Järna, Telleby bokförlag.

Hanisch (1981) Zum einfluss von natronwasserglas auf die populationsentwicklung von blattläusen an weizen mit unterschiedlich hoher stickstoffdüngung, Zeitschrift für angewandte entomologie, 91 (2), 138- 149.

Hanson Y (1992) Försöksresultat för fritidsodlare- kisel som växtvårdsmedel, Uppsala, Sveriges lantbruksuniversitet, Försöks- och utvecklingsenheten för fritidsodling, Trädgårdsförsöksstationen, nr 3.

Hattori T, Inanaga S, Tanimoto E, Lux A, Luxowá M och Sugimoto Y (2003) Silicon- induced changes in viscoelastic properties of sorghum root cell walls, Plant & cell physiology 44 (7) 743-749.

Jones LHP och Handreck KA (1969) Uptake of silica by *Trifolium incarnatum* in relation to the concentration in the external solution and to transpiration, Plant and soil 30, 71-80.

Kabata-Pendias A och Pendias H (1992) Trace elements in soils and plants, 2:a upplagan, Boca Raton, CRC Press.

Kataki R och Konwer D (2002) Fuelwood characteristics of indigenous tree species of north-east India, Biomass and bioenergy, 22, 433-437.

Kirchmann H och Eriksson J (1987) Kisel i mark och gröda, Uppsala, Aktuellt från lantbruksuniversitetet.

Kjaer ED, Kajornsrichon S och Lauridsen EB (1999) Heartwood, calcium and silica content in five provenances of teak (*Tectona grandis* L.), Silvae genetica 48 (1), 1-3.

Kjellenberg L och Granstedt A (1998) Samband mellan mark, gröda, gödsling - Resultat från K-försöket, en 33-årig studie av gödslingens inverkan på mark och grödors egenskaper, Järna, Biodynamiska forskningsinstitutet, Nordisk Forskningsring meddelande nummer 36.

Kluthcouski J och Nelson L (1980) The effect of silicon on the manganese nutrition of soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill), Plant and soil 56, 157-160.

Leusch HJ och Buchenauer H (1984) Einfluss von natriumsilikat und silikatreichen kalken auf den befall von weizen mit *Erysiphe graminis* & *Septoria nodorum*, Meddelingen van de faculteit landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent 49 (2a), 329- 339.

Liang YC, Shen QR, Shen ZG och Ma TS (1996) Effects of silicon on salinity tolerance of two barley cultivars, Journal of plant nutrition 19 (1), 173-183.

Lidman S (1999) Bonniers compact lexikon, Ljubljana, Bonnier Lexikon AB.

Lowig (1936) Der einfluss des kieselsäuregehaltes auf den mehлтаubefall der gramineen, Pflanzenbau 13, 362-367.

Lüthi T och Löfström B (1993) Biodynamiska preparat, 2:a upplagan, Järna, Biodynamiska föreningen.

Ma CC, Li QF, Gao YB och Xin TR (2004) Effects of silicon application on drought resistance of cucumber plants, Soil science and plant nutrition 50 (5) 623- 632.

Marschner H (1995) Mineral nutrition of higher plants, London, Academic Press.

McNaughton SJ, Tarrants JL, McNaughton MM och Davis RD (1985) Silica as a defense against herbivory and a growth promotor in african grasses, Ecology 66(2) 528-535.

Mengel K och Kirkby EA (1982) Principles of plant nutrition, 3:e upplagan, Bern, International Potash Institute.

Menzies JG, Ehret DL, Glass ADM, Helmer T, Koch C och Seywerd F (1991) Effects of soluble silicon on the parasitic fitness of *Sphaeroteca fuliginea* on *Cucumis sativus*, Phytopathology 81, 84-88.

Menzies JG, Bowen P, Ehret D och Glass ADM (1992) Foliar applications of potassium silicate reduce severity of powder mildew on cucumber, muskmelon, and zucchini squash, Journal of the american society for horticultural science 117 (6) 902-905.

Milby TH (1971) The leaf anatomy of buffalo grass, *Buchloë dactyloides* (Nutt.) Engelm., Botanical gazette 132 (4) 308-313.

Miyake Y och Takahashi E (1983) Effect of solicon on the growth of solution- cultivated cucumber plant, Soil science and plant nutrition, 29 (1), 71-83.

Modéer C och Svensson A (2004) Användning av vulkaniska material som odlingssubstrat, examensarbete på trädgårdsingenjörsprogrammet 2004:10, Alnarp.

Moore D (1984) The role of silica in protecting Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) from attack by dipterous stem-boring larvae (*Oscinella frit* and other related species), Annals of applied biology 104, 161-166.

Motomura H, Fujii T och Suzuki M (2004) Silica deposition in relation to ageing of leaf tissues in *Sasa veitchii* (Carrière) Rehder (Poaceae: Bambusoideae), Annals of botany 93, 235-248.

Ohlsson C (2001) The distribution of diatoms and major elements in a regulated river system- a study of the Zambezi River in the Lake Kariba area, Luleå tekniska högskola, Minor field studies No. 139.

Parry DW, Hodson MJ och Sangster AG (1984) Some recent advances in studies of silicon in higher plants, Philosophical transactions of the royal society of London. Series B, Biological sciences, 304 (1121), Mineral phases in biology, 537-549.

Pettersson BD (1970) Verkan av växtplats, gödsling och tillväxtreglerande substanser på matpotatisens kvalitetsegenskaper, licenciatavhandling, Järna, Nordisk forskningsring, meddelande nr 23.

Pettersson C (1995) Silicon effects on cucumber plants cultivated in rockwool and pumice-potential substrates in closed cultivation systems, Alnarp, Department of Horticulture.

Pettersson M-L och Åkesson I (1998) Växtskydd i trädgård, Bokförlaget Natur och Kultur/LT.

Ross TE (1981) Diatomaceous earth as a possible alternative to chemical insecticides, Agriculture and environment 6, 43-51.

Samuels AL, Glass ADM, Ehret DL och Menzies JG (1993) The effects of silicon supplementation on cucumber fruit: changes in surface characteristics, Annals of botany, 72, 433- 440.

Sangster AG (1978) Silicon in the root of higher plants, American journal of botany, 65 (9), 929-935.

Shimizu K, Del Amo Y, Brzenzinski MA, Stucky GD och Morse DE (2001) A novel fluorescent silica tracer for biological silicification studies, Chemistry & biology 8, 1051-1060.

Shkolnik MY (1984) Trace elements in plants, Amsterdam, Elsevier science publishers B.V.

Steiner R (1966) En lantbrukskurs: åtta föredrag hållna i Koberwitz vid Breslan, 7-16 juni 1924, Stockholm, Kosmos förlag

Subramanian S och Gopalaswamy A (1988) Effects of silicate materials on rice crop pests, International rice research newsletter 13 (3), 32.

Taiichiro et al. (2003) Silicon- induced changes in viscoelastic properties of sorghum root cell walls, Plant & cell physiology 44 (7) 743-749

Thomasson JR, Nelson ME och Zakrzewski RJ (1986) A fossil grass (Gramineae: Chloridoideae) from the miocene with kranz anatomy, Science, New Series, 233 (4766) 876-878.

Tisdale och Nelson (1975) Soil fertility and fertilizers, New York, Macmillan Publishing Co., Inc.

Tscharntke T (1988) Variability of the grass *Phragmites australis* in relation to the behaviour and mortality of the gall-inducing midge *Giraudiella inclusa* (Diptera, Cecidomyiidae), Oecologia 76, 504- 512.

Van der Vorm (1980) Uptake of Si by five plant species, as influenced by variations in Si-supply, Plant and soil 56, 153-156.

Volk RJ, Kahn RP, Weintraub RL (1958) Silicon content of the rice plant as a factor influencing its resistance to infection by the blast fungus, *Piricularia oryzae*, Phytopathology 48, 179-184.

Wagner F (1940) Die bedeutung der kiselsäure für das wachstum einiger kulturpflanzen, ihren nährstoffhauhalt und ihre anfälligkeit gegen echte mehлтаupilze, Phytopathologische zeitschrift 12 (5), 427- 479.

Wallace A, Romney EM, El-Gazzar AM och Khadr AH (1979) Leaf absorption of metals deposited as dust on leaves, Alexandria journal of agricultural research, 27 (1), 87-92.

Yamauchi M och Winslow MD (1987) Silica reduces diseaese on upland rice in high rainfall area, International rice research newsletter, 12 (6), 22-23.

### **Muntliga meddelanden**

Apelqvist Åsa, Analytica, (asa.apelqvist@analytica.se) Analytica AB, Aurorum 10, 977 75 Luleå

Bohlin Claes, Kvalitetsansvarig Hasselfors garden (0585 - 481 76), Hasselfors Garden AB, 695 84 Hasselfors

Eka Chemicals AB, (csgrp@ekachemicals.com), Colloidal Silica Group, 445 80 Bohus

Gustafsson Marianne, Socialstyrelsen (marianne.gustafsson@socialstyrelsen.se) Socialstyrelsen, 106 30 Stockholm

Johansson Stefan, Sydvatten, (tel. 0705- 20 51 76) Nobelvägen 66, 205 09 Malmö

Johansson Kron Mats, Bara Mineraler (0709-813 309) Bara Mineraler AB, Malmövägen, 230 40 Bara

Lindgren Agneta, Analycen (agneta.lindgren@analycen.se) AnalyCen Nordic AB  
Box 9024, 291 09 Kristianstad

Lundin Lars, Professor vid institutionen för skoglig marklära (lars.lundin@sml.slu.se)  
Institutionen för skoglig marklära, SLU, Box 7001, 750 07 Uppsala (www-markinfo.slu.se 050713)

Nokes Judy, Her Majesty's Stationary Office, (judy.nokes@cabinet-office.x.gsi.gov.uk) Office of Public Sector Information, St Clemens House, 2-16 Colegate, Norwich, NR3 1BQ, Great Britain

Ohlander Eva-May, Livsmedelsverket (registrator@slv.se) Livsmedelsverket, Box 622, 751 26 Uppsala

Regander Claes, geolog på SWECO (claes.regander@sweco.se) Hans Michelsensgatan 2, Box 286, 201 22 Malmö  
Schønfeld Bo, Area Sales Manager Damolin A/S (bs@damolin.dk) Kønsborgsvej 9, DK 7884 Fur

Widarsson Gertie, ALcontrol (gertie.widarsson@alcontrol.se) ALcontrol AB  
Olaus Magnus väg 27 , Box 1083, 581 10 Linköping

Willms, LJ, Permissions Department, (lwillms@timberpress.com) Timber Press, Inc., 133 S.W.  
Second Avenue, Suite 450, Portland, Oregon 97204-3527